VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

КЛАССИКИ НАУКИ

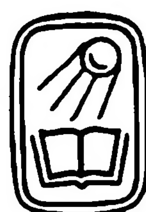


БРУНО ПОНТЕКОРВО

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

В ДВУХ ТОМАХ

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ
С.М.БИЛЕНЬКОГО



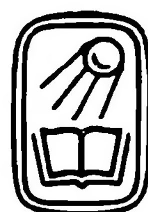
МОСКВА «НАУКА • ФИЗМАТЛИТ» 1997

БРУНО ПОНТЕКОРВО

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

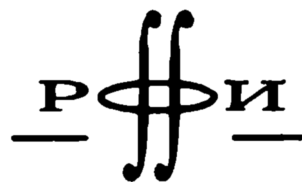
II

ВОСПОМИНАНИЯ



МОСКВА «НАУКА • ФИЗМАТЛИТ» 1997

ББК 22.3г
П56
УДК 539.12



Издание осуществлено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 95-02-24005

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Серия основана академиком С.И.Вавиловым в 1945 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

П.В.Симонов (председатель), В.А.Кабанов, С.П.Капица, Ю.А.Осипьян, А.М.Прохоров, А.С.Спирин, К.В.Фролов, А.Н.Шамин, А.Л.Яншин, М.Г.Ярошевский

Редакторы-составители:

С.М.БИЛЕНЬКИЙ, Т.Д.БЛОХИНЦЕВА, И.Г.ПОКРОВСКАЯ, М.Г.САПОЖНИКОВ

Понтекорво Б.

П56 Избранные труды: В 2 т. Т. II. Воспоминания /Под. общ. ред. С.М.Биленького; Ред.-сост. С.М.Биленький, Т.Д.Блохинцева, И.Г.Покровская, М.Г.Сапожников. — М.: Наука. Физматлит, 1997. — 352 с.; 32 с. фото. — (Классики науки).

ISBN 5-02-015103-3 (Т. II)

В книгу вошли избранные труды выдающегося физика, академика Бруно Понтекорво (1913–1993). Ученик и сотрудник Э.Ферми, почетный член Итальянской академии деи Линчеи Б.Понтекорво большую часть своей жизни прожил в России. Обширное наследие Б.Понтекорво включает научные статьи, работы по истории физики, научно-популярные статьи, воспоминания. Специально для этого издания более 30 видных ученых, друзей Б.Понтекорво подготовили воспоминания о нем и его роли в науке. Книга содержит полную библиографию трудов Б.Понтекорво.

Для специалистов, аспирантов, студентов, интересующихся историей науки.

$\frac{1401020000-041}{053(02)-97}$ 59-97. Наука, II полугодие

ББК 22.3г

ISBN 5-02-015103-3 (Т. II)
ISBN 5-02-015084-3

© С.М.Биленький, Т.Д.Блохинцева, И.Г.Покровская, М.Г.Сапожников, составление, 1997

© Российская академия наук, 1997

Статьи по истории физики

ОТКРЫТИЕ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ: НЕКОТОРЫЕ ВОСПОМИНАНИЯ*

После окончания Римского университета я был оставлен ассистентом кафедры физики. Тема моих исследований была выбрана Ферми и Сегре. Это была работа по классической спектроскопии. В 1934 г. практически уже никто в Институте физики не занимался спектроскопией; весь коллектив лихорадочно исследовал радиоактивность, наведенную нейтронами, и на семинарах института царили «ядерные» доклады. Все эти обстоятельства привели к тому, что мое сердце было гораздо ближе к нейтронным исследованиям Ферми и сотрудников, чем к моей спектроскопической работе, которую я закончил летом 1934 г. Поэтому я был очень рад, когда по возвращении в Рим после каникул мне предложили помочь в нейтронных экспериментах.

Амальди и я должны были выполнить количественные измерения относительных активностей, наводимых нейтронами в разных веществах. Предыдущие аналогичные измерения Ферми и сотрудников носили только качественный характер. В то время (неизвестно почему) игнорировался эффект рассеяния и считалось, что действуют только первичные нейтроны; тогда наведенная в образце активность должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния R от источника, если это расстояние гораздо больше размеров источника и образца; но при таких расстояниях в образце наводится ничтожная активность. Итак, наша задача состояла в выборе удобной геометрии опытов по облучению в сравнимых условиях разных элементов на малом расстоянии от нейтронного источника. Но оказалось, что даже в простом случае, когда измерялись активности только одного образца (стандартного серебряного цилиндра), было трудно получить воспроизводимость результатов.

Как стало ясно впоследствии, это было связано с влиянием рассеяния и замедления нейтронов окружающими предметами. Но вначале, исходя из неявно сформулированной догмы, что «нет других нейтронов, кроме первичных», мы не могли найти никакого объяснения нерегулярностям наводимой активации. Первым шагом к решению этой загадки стало измерение активности нашего стандартного цилиндра, когда он находился на расстоянии около 20 см от источника, причем цилиндр и источник помещались в домик из свинцовых кирпичей, который защищал экспериментаторов от излучения. Закон $1/R^2$ привел бы к ничтожно малой активности, что в отсутствие домика и было проверено особым экс-

---

*Лекция, прочитанная на юбилейном заседании IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 8 июня 1982 г // Нейтрон. к пятидесятилетию открытия.: Сб. статей. — М.: Наука, 1983, с.240—244.

периментом. Но в домике закон $1/R^2$ как будто не действовал. Активность в домике на расстоянии 20 см была вполне заметна. Мы с Амальди были совершенно уверены в реальности влияния свинца и назвали его эффектом «casteletto», что означает «эффект свинцового замка» (позднее стало ясно, что речь идет о неупругом рассеянии нейтронов на свинце). Интересна была реакция Ферми и Разетти. Разетти с его скептическим духом просто не поверил в наш результат. Ферми же сказал, что следует продолжать опыт, но как будто не проявил особого интереса. Как стало ясно позже, это было ложное впечатление.

Через несколько дней Ферми непосредственно включился в решение «свинцовой загадки». Он предложил измерить активность, наводимую в серебряном цилиндре, когда между ним и источником находится узкий свинцовый клин толщиной несколько сантиметров. Этот клин уже был готов, но... измерений с ним ни Ферми, ни другие не проводили. Не сказав никому ни слова, утром 22 октября 1934 г. Ферми решил измерить радиоактивность серебряного цилиндра, «пропуская» нейтроны от источника не через свинцовый, а через парафиновый клин тех же размеров, который он сам быстро изготовил. Результат был ясным: парафиновый «поглотитель» не уменьшал активности, а определенно (хотя и мало) увеличивал ее. Ферми вызвал всех нас и сказал: «Это происходит, вероятно, из-за водорода в парафине; если немного парафина дает заметный эффект, посмотрим, как будет действовать большое его количество». Опыт был сразу же выполнен сначала с парафином, а затем с водой. Результаты были потрясающими: активность серебра в сотни раз превысила ту, с которой мы имели дело ранее! Ферми прекратил шум и волнение сотрудников знаменитой фразой, которую, как говорят, он повторил через восемь лет при пуске первого реактора: «Пошли обедать».

Итак, был обнаружен эффект Ферми (замедление нейтронов), открывший новую главу ядерной физики, а также новую область техники, как мы говорим сегодня, — атомную технику.

Я столь подробно рассказал об открытии медленных нейтронов потому, что здесь очень существенными были как случайные обстоятельства, так и глубина и интуиция великого ума. Когда мы спросили Ферми, почему он поставил парафиновый, а не свинцовый клин, он улыбнулся и насмешливо произнес: «C.I.F.» (Con Intuito Fenomenale). По-русски это звучало бы примерно как ПФИ (по феноменальной интуиции).

Было бы неправильно, если бы у читателя вследствие этой ПФИ-бравады создалось впечатление, что Ферми нескромен. Он был непосредственным, очень простым и скромным человеком, но он просто был уверен в своих силах. Кстати, когда после обеда в этот знаменитый день он возвратился в институт и с удивительной ясностью объяснил нам эффект парафина, введя понятие о замедлении нейтронов, то совершенно искренне сказал: «Как глупо, что мы открыли явление случайно и не сумели его предсказать». Ферми сразу же угадал, что нейтроны, теряя энергию в столкновениях с водородом, замедляются вплоть до энергии теплового движения и что как раз медленные нейтроны очень эффективно могут наводить радиоактивность в нашем детекторе. Однако со свойственной ему научной осторожностью он подчеркнул, что идея о «тепловых» нейтронах остается пока гипотезой и ее проверку можно осуществить только при помощи обнару-

жения влияния температуры парафина или прямого измерения скоростей нейтронов. Первая попытка наблюдения влияния температуры на наведенную активность, кстати, была сделана Ферми очень скоро, но опыт, состоявший в поисках различия активации детектора при холодном и горячем парафине, не дал положительного результата, и только через несколько месяцев Муну и Тиллману в Англии, а также Ферми и сотрудникам удалось наблюдать это явление.

Уже в тот же день, сразу после обеда, был выполнен ряд опытов, показавших, что эффект парафина (и воды) связан в основном с водородом, а не с другими элементами и что он обусловлен нейтронами, а не γ-лучами от источника Rn + Be.

Кроме того, было найдено правило, согласно которому чувствительность к водородсодержащим веществам обнаруживают не все активности, а только те, которые соответствуют образованию радиоактивного изотопа бомбардируемого элемента. Это был очень важный результат, и связь реакции (n, γ) с эффектом водорода объяснила ряд странных результатов, которые наблюдались ранее.

В ту же ночь 22 октября мы все собрались в доме Ферми (или Амальди, не помню точно). Здесь в ясном телеграфном стиле была написана первая работа по замедлению нейтронов, которая должна была стать началом новой серии писем в «Ricerca Scientifica» под названием «Влияние водородсодержаших веществ на радиоактивность, наведенную нейтронами».

Ферми доложил об удивительных свойствах медленных нейтронов директору института профессору Корбино. Корбино оживленно реагировал на сообщение Ферми и сказал: «Вы должны обязательно добиться патента на Ваш метод получения медленных нейтронов». И сейчас не могу забыть искреннего, сердечного, детского смеха Ферми при намеке Корбино на то, что работы, о которых шла речь, могли бы иметь практическое значение. Корбино же на общее веселье Ферми и его сотрудников довольно сухо заметил: «Вы молоды и ничего не понимаете!»

Конечно, Корбино был прав: этот патент, который был оформлен вначале в Италии, а затем и в других странах, оказался очень полезным для изобретателей после того (1950 г.), как замедление нейтронов стало широко использоваться.

Открытие замедляющего эффекта водорода вызвало необходимость решить ряд новых проблем, и скоро наряду с изучением радиоэлементов, образованных нейтронами, важную роль в работе стали играть уже исследования свойств самих нейтронов (замедление, рассеяние, поглощение и т.д.).

Результаты работ, выполненных в первые три месяца после открытия явления замедления нейтронов, достаточно подробно изложены в статье, представленной Резерфордом в «Proceedings of the Royal Society». В этой статье содержатся практически все основные идеи физики медленных нейтронов, за исключением, конечно, важнейшего вопроса о «группах нейтронов» и нейтронных резонансах, который, кстати, Ферми удалось полностью обосновать и разобрать через год. Как видно, темп работ был потрясающим! При этом в лаборатории никогда не ощущалось спешки и Ферми был всегда спокоен.

После открытия эффекта замедления систематически проводились и облучения урана (и тория) с парафином и без него. Однако загадка множественности обнаруженных активностей не была решена Ферми; для этого потребовалось

открытие деления Ганом и Штрассманом (1939 г.). Сейчас мне кажется чудом, что Ферми с его глубиной и интуицией не сумел теоретически предугадать процесс деления.

Что же касается экспериментов с ураном, то группе Ферми в это время не повезло: деление могло быть открыто экспериментально в Риме в январе 1935 г., если бы не случайные обстоятельства. Несколько слов об этом. Среди многочисленных активностей, вызванных в уране и тории нейтронами, согласно Ферми, могли бы находиться и α-активности. Эти α-активные радиоэлементы с периодом больше нескольких секунд искались, но не были найдены. Тогда была рассмотрена возможность того, что при бомбардировке урана и тория медленными нейтронами α-частицы испускаются мгновенно, как это было найдено нами в боре. Аппаратура для наблюдения α-частиц была той же самой, которая использовалась для экспериментов с бором. Итак, образец из окиси урана бомбардировался в парафине медленными нейтронами; образец находился перед малой импульсной ионизационной камерой, соединенной с линейным усилителем, способным регистрировать импульсы ионизации от α-частиц. Так как ожидалось, что искомые α-частицы имеют больший пробег, чем естественные α-частицы от урана, то для уменьшения фона последних перед урановым образцом была помещена алюминиевая фольга толщиной, эквивалентной 5 см воздуха. Именно эта фольга и помешала наблюдению больших импульсов ионизации, обусловленных осколками деления! Не раз в 1939 г. и позже сотрудники Ферми обсуждали случай со «зловредной» алюминиевой фольгой и задумывались над вопросом: «Допустим, что мы в 1935 г. наблюдали большие импульсы ионизации от урана; сумел бы Ферми понять явление, т.е. открыть деление?»

SOME EARLY INVESTIGATIONS ON NUCLEAR ISOMERISM*

A review is given of some early (1935—1939) investigations on nuclear isomerism conducted after the discovery of artificial radioactivity. The talk is in no way full, is subjective, and deals only with some of the very first results on the following points: discovery of isomerism, Weizsacker hypothesis, internal conversion of isomeric transitions, observations of isomeric transitions, β-stable isomers and their excitations.

1. Introduction

Before the discovery of Artificial Radioactivity [1] by I. and F. Joliot-Curie 50 years ago, little was known about the phenomenon of nuclear isomerism. Indeed such discovery gave a great impetus to the investigation of this phenomenon.

It is the purpose of this note to present a short review covering the period until 1939, of some early investigations on nuclear isomerism. Only the very first results on each subject are being touched upon in the review. To a certain degree the report, which in no way is a full account, is given in form of personal recollections. The investigations about which quite a lot of talk is going on have been conducted at the Laboratory of Nuclear Chemistry of the College de France (directed by F.Joliot-Curie), where I was working in 1936—1939. They have been directly inspired by the discovery of Artificial Radioactivity and would not have been possible, were it not for the personal help, moral as well as material, and the never failing scientific advice of Frederic Joliot-Curie. I wish to express here my deep gratitude to this great man.

2. Natural Radioactivity and Nuclear Isomerism

The hypothesis that two atomic nuclei having the same value of the atomic number Z and the same value of the mass number A could have different radioactive properties (the hypothesis of nuclear isomerism) was put forward for the first time by Soddy [2] in 1917. The first evidence in favour of the existence of isomerism was obtained in 1921, when Hahn [3] discovered Uranium Z. The study of the chemical and radioactive properties of Uranium Z forced Hahn to conclude that Uranium Z and Uranium Z_2 are isomeric nuclei. Today it is well known that there are two beta-active isomeric forms of ^{234}Pa with decay periods 1.2 minutes and 6.7 hours, few people remembering that they were called once UX_2 and UZ.

*JINR Preprint E3,4-83-581, Dubna, 1983; Proc. of the Conf. on the Fiftieth Anniversary of the Artificial Radioactivity Discovery. Paris, March 1984.

3. Artificial Radioactivity and Nuclear Isomerism

I would like to emphasize here that for almost 20 years Uranium Z and Uranium X_2 remained the only known example of an isomeric pair. Thus nuclear isomerism for some time came to be known as an exceptional phenomenon.

After the discovery of Artificial Radioactivity, however, the search for radioactive nuclei through the bombardment of stable elements by various particles naturally led to the establishment of a number of unmistakable examples of nuclear isomerism. Especially significant and effective was the bombardment by slow neutrons [4], which even before the advent of reactors yielded artificial radioactive nuclei all over the Mendeleyev Periodic Table.

Typically, at the time (1935—1939), one could often definitely demonstrate that an isomeric pair is present, although an accurate statement about the mass number of the pair could not always been made. This, for example, happened in the case of the first discovery (1935) of an isomeric pair among artificial radioelements in bromine [5]. I shall give here one illustration; in the review article published in 1939 «Recent Experimental Research in Nuclear Isomerism» it was stated [6] that more than thirty isomeric pairs are known to exist, whereas in the review article «Induced Radioactivity» published in the same year, only seventeen isomeric pairs with well specified properties were listed [7].

4. The Discovery of Nuclear Isomerism in ^{80}Br

The investigation of nuclear isomerism in bromine is of historical significance. As a matter of fact, the first certain proof of the existence of an isomeric pair among artificial radioactive nuclides was obtained in 1935 through the investigation of radioactive isotopes of bromine, the stable isotopes of which are ^{79}Br and ^{81}Br.

Kurchatov et al. [5] showed that three radioactive isotopes, with periods 18 min, 4.4 hours, 36 hours are produced in the neutron bombardment of the element bromine. In a subsequent experiment of Amaldi et al. [8] all the three periods mentioned above were shown to be sensitive to the presence of hydrogenous substances, which means that they were excited by slow neutrons. Now slow neutrons in heavy elements are simply captured. Clearly neutron capture in a heavy element consisting of two isotopes can yield three radioactive isotopes only if two periods belong to an isomeric pair.

The assignment of the mass number 80 (and not 82!) to the isomeric pair with periods 18 min and 4.4 hours was correctly given in 1937 by Bothe and Gentner [9]. They irradiated the element bromine with high energy (17 MeV) photons from the reaction $^{7}Li + {}^{1}H \rightarrow {}^{8}Be + \gamma$ and searched for the Br periods induced in bromine by such photons. Among the Br activities Bothe and Gentner observed the periods 18 min and 4.4 hours, but not 36 hours, a fact which without a shade of doubt led to the assignment mentioned above: the periods 18 min and 4.4 hours are obtained by neutron capture in ^{79}Br and by photoneutron effect in ^{81}Br.

The work initiated by Kurchatov et al. is quite typical of the first phase of research on nuclear isomerism, to which the present article is mainly dedicated. This phase, which was concluded in the early fourties with the advent of nuclear reactors and high current accelerators, was generally characterised by a relative weak activity of the artificial radioelements. Thus such weakness resulted in the circumstance that, more often than not, information on the spectra of the radiations emitted (beta, gamma and conversion electrons) had to be looked for by very rough absorption methods.

5. The Weizsäcker Hypothesis and Early Ideas on Nuclear Isomerism

It was natural (I would say tautologically compulsory) to think that the physical difference between the two isomeric nuclei is connected with two states of different excitation of the same nucleus (say the ground and the first excited states). However one had to invoke some mechanism capable of ensuring the metastability of the excited level, that is a mechanism preserving the excited level from being destroyed very quickly by the emission of electromagnetic radiation.

As a matter of fact, experimental evidence based on the properties of the natural radioactive bodies C' (long range alpha particles) and also on our knowledge of slow neutron capture level widths (referring to highly excited levels) suggested that the radiative (γ) dipole and quadrupole transition probabilities in nuclei are of the order of 10^{12}—10^{13} sec^{-1}. Now excited isomeric states may have widths smaller than 10^{-3} sec^{-1}.

The mechanism for the metastability of the excited isomeric state was proposed by Weizsäcker [10] in 1936. He assumed that the lowest excited state of the nucleus has an angular momentum differing by several units from that of the ground state.

The Weizsäcker hypothesis played a decisive role in the early development of theoretical and experimental investigations on nuclear isomerism. I shall not be concerned in this note with explanations of nuclear isomerism different from that proposed by Weizsäcker, nor shall I touch upon the recent and important problem of spontaneous fission from excited isomeric states.

Soon after the Weizsäcker hypothesis had been formulated, in October 1937 in Paris an International Conference, very well organised by F.Joliot-Curie, took place — the Congres du Palais de la Decouverte. At the conference I put forward a few qualitative ideas, which were quite relevant, at least as far as my own subsequent work on nuclear isomerism is concerned.

Clearly of great importance in the study of nuclear isomerism was the investigation of the γ radiation emitted in the transition from the excited state to the ground state of the nucleus. However, the first searches for such radiation failed. This failure, as I suggested in 1937 [11], might be explained if γ rays from the excited isomeric states were strongly internally converted; in this case electrons of small energy would be emitted, which are hard to detect and had not yet been searched for.

The suggestion turned out to be right and I shall be concerned with the first experiments on nuclear isomerism and internal conversion in the next section. Here I will mention only that two theoretical quantitative papers [12,13], based on the

Weizsäcker hypothesis and published in 1938, reached definite conclusions about the necessity of strong internal conversion of the low energy isomeric transition radiation.

Incidentally the (strong) internal conversion of isomeric transitions should permit sometimes to discover [11] new isomer candidates, namely, when a very soft radiation is being observed with a period much shorter than the Sargent rules for beta decay would allow.

So far beta radioactive isomers were discussed: the isomerism in this case, implies a difference in lifetimes of the β-active isomers. However, as I noticed [11] at the Congres du Palais de la Decouverte, beta-stable nuclei having a metastable excited state should also not be very rare and might be revealed by studying the radiation emitted by this metastable state. These nuclei are interesting for the understanding of nuclear isomerism, because the radiation corresponding to the isomeric transition is not troubled by the presence of unwanted beta and gamma rays. It should be possible to obtain a beta-stable nucleus in a metastable state, after a nuclear transmutation or a radioactive disintegration. However such nuclei may be obtained in a much more «clean» way, a matter which will be touched upon in a subsequent section.

At the time of the 1937 Congress it was absolutely clear to me that nuclear isomerism is by no means an exceptional phenomenon, although the actual number of known isomeric pairs was still quite small at the time.

6. Nuclear Isomerism and Internal Conversion: Early Experiments

In the case of beta-active isomers, there is always the possibility that the radiative isomeric transition probability is decreased to such an extent by the Weizsäcker mechanism, that the normal slower beta processes compete effectively to destroy the upper state. But this should not be the rule. When beta and gamma processes from the upper state have comparable probabilities and even more if the gamma process is prevailing, the radiative isomeric transition should be observable, with the reservation that, as discussed in the preceding section, it might and often should consist mainly of (soft) conversion electrons and not of gamma rays.

From these considerations, when I moved to Paris, I initiated a search for radiative isomeric transitions. I had lot's of experience with slow neutrons. Thus good candidate targets seemed to be bromine and rhodium. From the time of the Rome work in the Fermi group, I was very well acquainted with the two periods 44 sec and 4.2 min obtained in rhodium by slow neutrons. The 44 sec period had been used as an indicator of thermal and resonance neutrons in Rome. There I had been running cumulatively with a rhodium indicator for no less than 100 km! It was virtually certain that the 44 sec and the 4.2 min are isomers [14]. Thus, I selected as a target rhodium and not bromine, the reasons for the choice being rather of sentimental than scientific character. As is turned out, personally for me it was a good choice in the sence that the competition of various physicists was severe in the study of the bromine isomeric transition whereas the study of the rhodium isomeric transitions was «peaceful».

Making use of rough absorption methods and simple experimental apparatus (Rn + Be neutron sources, thin Rh targets, thin Geiger—Muller counters) I

deliberately looked for a low energy electron component from Rh irradiated by slow neutrons. The soft component was actually present [15]. The experimental results could be explained by assuming that the soft radiation is an «electron line» emitted with a period 4.2 min by internal conversion in the transition from the metastable state to the ground state of the ^{104}Rh nucleus, the 44 sec period characterising the β transition from the ground state of ^{104}Rh to the ground state of ^{104}Pd.

Similar conclusions about the strong internal conversion of the isomeric transition in ^{80}Br were independently made by Roussinow and Yuzephovitch [16].

The results of Refs. 15, 16 inasmuch as they agreed with the theoretical excitations [11—13], based on the Weizsäcker hypothesis gave support to such hypothesis.

Already in 1939, after a number of more refined investigations had been performed, there was no longer any doubt as to the fact that isomeric transitions are often strongly converted.

First, in the cases of isomeric nuclei of radiobromine [17—18] and of element 43 [19], strong lines of conversion electrons have been observed in the magnetic spectrometer or in the Wilson chamber.

Second, the internal conversion is accompanied by *X*-ray emission: as a rule the analysis of these rays is an invaluable test in the interpretation of nuclear isomerism phenomena [19—20].

Third, it has been possible to separate, one from the other, the two isomeric forms of radiobromine [21]. The principle of the separation method, which has been subsequently applyed to a number of other isomeric pairs, is as follows. Suppose the element, of which the isomeric states are being studied, can give compounds suitable for the application of the Szilard—Chalmers method of concentration [22]. When the isomer in the upper state decays to the lower state, the corresponding recoil may be sufficient to knock the decayed atom out of the compound. The dauther activity can then be separated, as in the classical Szilard—Chalmers method. This method has given additional confirmation that the transitions between isomeric states are strongly converted (the recoil due to the γ emission is not sufficient to knock the decayed atom out of the compound, whereas the larger recoil of a conversion electron may be sufficient).

In conclusion an additional consequence of the strong internal conversion of radiative transitions with a long lifetime (10^{-8}—1 sec) should be mentioned. Such transitions should be quite frequent and therefore, as anticipated in Ref.23, one should observe, the emission of soft electron lines in the most various circumstances, in which not too light nuclei are somehow excited. Indeed this prediction has been fully verified, the first bright example being a strong component of soft electrons emitted in the slow neutron capture of gadolinium [24].

7. Beta-Stable Isomers

The first example of a pair of beta-stable isomeric nuclei was discovered in the Joliot-Curie Laboratory in 1938 [25]: it was a casual discovery, but our interpretation of the phenomenon had been prepared by old and continuous thinking on the

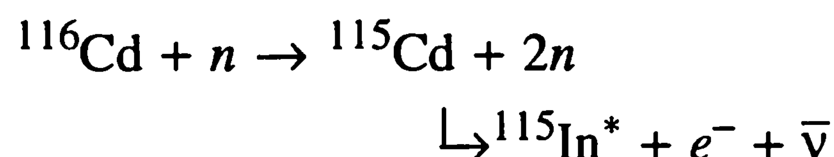
possibility (I would say the inevitability) of the existence of isomers stable from the point of view of beta decay [11].

Having in mind problems of nuclear isomerism and internal conversion, at the time I was very much concerned with the detection of soft radiations. As a detector of soft radiation we used a cylindrical Geiger—Muller counter of effective length 40 mm and diameter 20 mm having an Al wall only 5 μm thick. The counter was filled with air at atmospheric pressure, so that all its area was utilized. I learned to make the counter from my friends in Florence G.Bernardini, D.Bocciarelli and G.Occhialini. Incidentally it turned out that such counters are quite capricious. They were not always necessary in the present experiment and in the *X*-ray experiment which will be described in the next section. Nevertheless, they gave us at least moral help, making us certain, that we were not missing very soft radiations. I thought to use cadmium, which does not become strongly radioactive under slow neutron bombardment, as a support for a thin electrolytic deposite of the elements under study (to be activated by slow neutrons). However preliminary experiments, in which quite soft radiations could be detected, showed that, under bombardment by fast neutrons from a Rn + Be source, the cadmium cylindrical support becomes radioactive ($T \sim 50$ min), the activity being shown by chemical proofs to belong to an isotope of cadmium.

We convinced ourselves that this activity was neither produced by simple neutron capture nor by a *n, 2n* reaction.

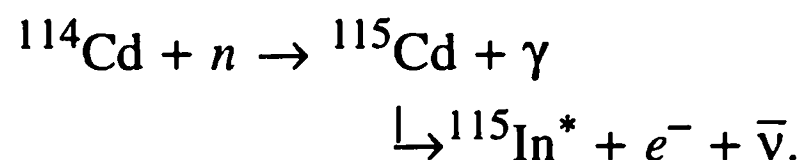
We interpreted the 50 min radiation emitted by cadmium as proceeding from a metastable state of a beta stable isotope of cadmium. The reaction of excitation without capture by fast neutrons was a familiar process to me since the old time in Rome, where the inelastic scattering of fast neutrons in lead [26] had been investigated. The process $Cd(n, n\gamma)Cd^*$ was expected to have a considerable cross section (some 10^{-24} cm^2) and we thought that a part of the excited nuclei of a cadmium isotope (as it is known now, ^{111}Cd) might radiatively «fall» into the metastable state, from which the 50 min isomeric radiation was observed.

Subsequently a similar but much cleaner case of inelastic neutron scattering to an isomer of a stable isotope of indium was studied thouroughly by Goldhaber, Hill and Szilard [27], who moved from an old idea of Szilard. It had been known for some time that under bombardment by fast neutrons from a Rn + Be source indium becomes radioactive with a period of about 4.1 hours [26]. Goldhaber et al. confirmed and extended to other neutron sources this finding and interpreted the 4.1 hour period as a metastable isomer of ^{115}In produced in the $^{115}In(n, n\gamma)^{115}In^*$ reaction, that is in a way similar to the one described above for the Cd activity [25]. The identification was certain. First, slow neutron bombardment does not produce the 4.1 hour activity [26—27]. Second, $^{115}In^*$ can grow from ^{115}Cd in the reaction induced by fast neutrons [27]



$$^{116}Cd + n \rightarrow {}^{115}Cd + 2n$$
$$\hookrightarrow {}^{115}In^* + e^- + \bar{\nu}$$

and from ^{114}Cd in the reaction induced by slow neutrons [27]



$$^{114}\mathrm{Cd} + n \rightarrow {}^{115}\mathrm{Cd} + \gamma$$
$$\hookrightarrow {}^{115}\mathrm{In}^* + e^- + \bar{\nu}.$$

Third, $^{115}\mathrm{In}^*$ can be produced in the reaction [28] $^{115}\mathrm{In}(p, p\gamma)^{115}\mathrm{In}^*$ induced by 5.8 MeV protons and in the reaction [29] $^{115}\mathrm{In}(\alpha, \alpha\gamma)^{115}\mathrm{In}^*$ induced by 16 MeV α particles.

8. Excitation of Beta-Stable Isomers by *X* Rays

The first experiment in which a beta-stable isomer was obtained by *X*-ray bombardment deserves a special place.

In the investigations which were discussed in the preceding section the metastable states of stable isotopes were generally obtained as a result of nuclear transmutations. A.Lazard and I [30] tried a new method of producing beta-stable isomers, which makes impossible the transmutation of the nucleus and, therefore, the generation of radionuclides (the presence of which usually complicates the investigations).

The method consists in bombarding the target with a continuous *X*-ray spectrum of energy less than the nuclear dissociation energy. Of course, the metastable state is not excitable directly through the absorption of a quantum of energy equal to the energy of the isomeric transition. However, in a sort of nuclear fluorescence process, *X* rays may excite higher nuclear levels, which combine in the spectroscopic sense of the word with the ground state, and which I shall call activation levels. The «fluorescence» gamma radiation, (usually several quanta) may leave the nucleus in a metastable state, the decay from which is observable by detecting the isomeric radiative transition.

At Ivry, in the Laboratory of Atomic Synthesis directed by F.Joliot-Curie, there was available [31] an *X*-ray tube of the Brasch—Lange type, supplied by about 3 MeV pulse generator. A rough estimate of the effective average cross section to be expected for the excitation of a few activation levels and therefore for the production of isomers by *X*-ray photons, showed that the facility mentioned above gave us ample opportunity to fulfil an old dream of mine: to produce isomers by *X*-ray photons.

Thus, using a maximum voltage of 1.8 million volts, we looked for activities induced by *X*-ray bombardment in various elements.

We asked F.Joliot for some indium and got from him an In foil. We found a positive effect in indium, one of the first, if not the first, elements we investigated, the corresponding period being about 4 hours. This was obviously the $^{115}\mathrm{In}^*$ isomer referred to in the previous section [27—29]. The negative results from other elements, in which a positive effect was expected, were due, as it became known later, to the lack of intensity.

Our result [30] was subsequently confirmed by M.Goldhaber et al. [32].

At a recent neutrino conference in Sicily (1980) it was a great pleasure to meet an old acquaintance of mine, M.Goldhaber. I told him that F.Joliot, after our experiment on *X*-ray excitation was finished, let us know that the In foil we had been

using had been sent to him by L.Szilard for some unknown reason. Maurice insured me that Szilard himself intended to perform the *X*-ray experiment!

Incidentally, in my work at Ivry for the first time in my life I had to deal with large scale experimental apparatus. The noise when we were measuring the generator voltage on the *X*-ray tube by letting sparks take place between 2 m diameter spheres, was deafening. The Laboratory was huge, dark, very impressive and «photogenic» from the point of view of directors of films on science and magic. I liked very much to exercise in alpinism going up quickly to the top of the very high pulse generator. I remember that F.Joliot often liked to work at Ivry with his own hands.

I sent our *X*-ray excitation paper to my first teacher E.Fermi, who was at the time in America and had just received the Nobel Prize. He sent me a letter with «heartly congratulations for the excellent results of the investigation». This was extremely gratifying; I was convinced that Fermi had some respect for me as a tennis expert (only).

F.Joliot, my second teacher, was very pleased with *X*-ray results, advertised them and proposed the name of «lasting nuclear fluorescence» for the phenomenon we had discovered.

9. Conclusion

I would like to conclude my talk with the presentation of some data.

In 1934 I. and F. Joliot-Curie reported the first cases of production of artificial radioelements [1]; by 1980 there were known about 1850 artificial radionuclides (and about 280 stable nuclides).

Section 4 was concerned with the first case of nuclear isomerism among artificial radionuclides, that is with the first known artificial isomeric pair [5]; by 1980 there were known about 550 isomeric pairs (with periods > 1 sec), and about 25 «isomeric triplets», that is 25 cases where three states (with a period larger than 1 sec) are found to exist in the same nucleus.

Section 6 was dedicated to the first few cases in which an isomeric transition radiation was directly observed [15—21]; by 1980 about 250 cases were known in which the radiation from an isomeric transition (of period > 1 sec) was directly observed.

Sections 7,8 were concerned with the first examples of isomers of beta-stable nuclei and with some methods for their production [25—30]; by 1980 there were known about 50 examples of isomers of beta-stable nuclei with period > 1 sec.

This statistical material illustrates well the amazing significance of the Artificial Radioactivity discovery.

I would like to quote some words pronounced in 1936 by Enrico Fermi: «from the point of view of the history of physics the great lesson from the work of F.Joliot and I.Curie is that they have shown how it is possible to achieve great deeds with the help of simple and cheap means».

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna July 27, 1983

REFERENCES

1. *Curie I., Joliot F.* // C.R., 1934, vol.198, p.254.
2. *Soddy F.* // Nature, 1917, vol.99, p.414.
3. *Hahn O.* // Chem. Berichte, 1921, vol.54, p.1131.
   See also *Feather N., Bretscher E.* // Proc. Roy. Soc. A, 1938, vol.165, p.542.
4. *Fermi E., Amaldi E., Pontecorvo B., Rasetti F., Segrè E.* // Ric. Scient., 1934, vol.1, p.283.
5. *Kourtchatow B., Kourtchatow I., Moussowski L., Roussinow L.* // C.R., 1935, vol.200, p.1201.
6. *Pontecorvo B.* // Nature, 1939, vol.144, p.212.
7. *Walke H.* // Rep. Progr. Phys., 1939, vol.VI, p.16.
8. *Amaldi E., d'Agostino O., Fermi E., Pontecorvo B., Segrè E.* // Ric. Scient., 1935, vol.6, p.581.
9. *Bothe W., Gentner W.* // Z. Phys., 1937, vol.106, p.236.
10. *Weizsacker C.* // Naturwiss., 1936, vol.24, p.813.
11. *Pontecorvo B.* // Travaux du Congres du Palais de la Decouverte, Paris, October 1937, p.118.
12. *Hebb H., Uhlenbeck G.* // Physics, 1938, vol.5, p.605.
13. *Dancoff S., Morrison P.* // Phys. Rev., 1938, vol.54, p.149.
14. *Amaldi E., Fermi E.* // Phys. Rev., 1936, vol.56, p.899;
    Pontecorvo B. // Nature, 1938, vol.141, p.785.
15. *Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1938, vol.54, p.542.
16. *Roussinow L., Yuzephovitch A.* // C. R. Acad. Sci. URSS, 1938, vol.20, p.9.
17. *Roussinow L., Yuzephovitch A.* // Dokl. Akad. Nauk SSSR, 1939, vol.24, p.128.
18. *Valley G., McCreary R.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.666.
19. *Segrè E., Seaborg G.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.808.
20. *Roussinow L., Yuzephovitch A.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.979.
21. *Segrè E., Halford R., Seaborg G.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.321.
22. *Szilard L., Chalmers T.* // Nature, 1934, vol.134, p.462.
23. *Pontecorvo B.* // C.R., 1938, vol.207, p.230.
24. *Amaldi E., Rasetti F.* // Ric. Scient., 1939, vol.10, p.115.
25. *Dode M., Pontecorvo B.* // C.R., 1938, vol.207, p.287.
26. *Amaldi E., d'Agostino O., Pontecorvo B., Rasetti F., Segrè E.* // Proc. Roy. Soc. A, 1935, vol.149, p.522.
27. *Goldhaber M., Hill R., Szilard L.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.46.
28. *Barnes S., Aradine P.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.50.
29. *Lark-Horowitz K.,Risser J., Smith R.* // Phys. Rev., 1939, vol.55, p.878.
30. *Pontecorvo B., Lazard A.* // C.R., 1939, vol.208, p.99.
31. *Joliot F., Lazard A., Savel P.* // C.R., 1935, vol.201, p.826.
32. *Collins G., Waldman B., Stubblefield B., Goldhaber M.* // Phys. Rev.,1939, vol.55, p.507.

RECOLLECTIONS ON THE ESTABLISHMENT OF THE WEAK INTERACTION NOTION*

Introduction

In the spring of 1984 Leon Lederman kindly invited me to deliver a talk on neutrino physics at the 1985 Fermilab International Symposium on Particle Physics in the 1950's. At the time I did not know whether I would be able to attend the symposium, and, besides, I did not feel like talking about neutrino physics, since I had covered such topic at recent meetings. Thus I replied to L.Lederman that I would report on some early Dubna work on strange particles, should such contribution be considered useful. Now on May 16, 1985 I have received a kind telex by Prof. Laurie Brown, the organizer of the Fermilab Symposium, where I am asked to contribute for the Symposium proceedings a paper on a subject of my choice.

Well, I am very glad to have the opportunity of writing about some early, practically unknown, Dubna work on strange particles. True, in his delightful talk on strange particles at the Paris 1982 Colloquium on the history of particle physics M.Gell-Mann mentioned my work [1]. It is quite natural that I would like people to be informed about some of my work, significant in my opinion, performed a long time ago. Now, the only way of fulfilling such a desire in a decent way is to be invited to take part at a symposium... Thus I have explained how the present note came to be written and I am glad to thank once more L.Lederman and L.Brown.

I shall cover mainly some Dubna work on new particles, performed in 1951—1955 [2,3], in the context of the notion of weak interaction, a notion which was certainly not taken as granted in the early 50's, but since 1947 had become one of my pet ideas [4].

The β Decay of Nuclei

The nuclear β decay, the first known weak process, was discovered by Rutherford about 85 years ago. However not every physicist knows that the notion of weak interaction, a conception much wider than that of the single process of β decay, came to be well established in the 50's only, that is about fifty years after the discovery of β rays, and about forty years after the discovery by Chadwick of the continuous β spectrum.

Below I shall present some personal recollections about the way the notion of weak interaction first was born and then became well established. Of course, my story is going to be neither objective nor full. I shall talk about some episodes which either I saw by my own eyes or in which I directly took part. Naturally I must keep in mind

*JINR Preprint E1-85-583, Dubna, 1985. Proc of the Int. Symp. on Particle Physics in the 1950's. — Cambridge· Cambridge Univ. Pr., 1989, p.367.

that I am writting the present note in June 1985. However I have been relying mostly on my memory and not on literature.

There is no need to recall here the most decisive ideas and experiments, I would say the «final» contributions to the creation of the universal electro-weak interaction theory. I shall limit myself to the evidence in favour of my 1947 idea, that the β decay «is not alone». The processes, other than the β decay, which pointed to some kind of universal behaviour concern first the muon and then strange particles. This story starts in 1947 and terminates in 1955.

The Muon Capture by Nucleons and the Muon Decay

Conversi, Pancini and Piccioni [5] in 1947 demonstrated that the (cosmic) 2.2 microsecond mesotrons, that is, the muons, have not the properties postulated for the Yukawa particles: the muon is interacting with nucleons much more weakly than the Yukawa particle should [6].

Elsewhere I have already described in detail how the experiment of Conversi et al. personally influenced all my way of thinking. Briefly, since the muon was not the particle of Yukawa, there were no compelling reasons to believe that the muon had properties which were being postulated for the Yukawa particle. Thus, in my opinion the following questions were entirely open:

1) Why the spin of the muon should be integer?

2) Who said that the muon decay into an electron and a neutrino and not into an electron and two neutrinos or into an electron and a photon?

3) Is the charged particle emitted in the muon decay an electron?

4) Are particles other than electrons and neutrinos emitted in muon decay?

5) In what form the nuclear muon capture energy is released mainly?

Some of the questions were answered experimentally by Hincks and myself and by other groups. As far as question 5) is concerned, I wish to discuss it here in some detail.

The nuclear muon capture energy, I was thinking in 1947, must be released mainly in form of neutrinos. The relevant reaction is then $\mu^- + Z \to (Z-1) +$ $+$ neutrino, very similar to the process of nuclear K capture $e^- + Z \to (Z-1) +$ $+$ neutrino. I interpreted the similarity of these two processes as a very significant and deep effect, because, as a matter of fact, the rate of nuclear electron capture and that of muon capture are quite close [4] (when proper account is taken of phase space effects and of the different electron and muon orbit volumes). I excluded the possibility of a chance coincidence and reached the following conclusions: i) the muon capture must be a process in some way identical to the β process, proceeding according to the reaction* $\mu^- + p \to$ neutrino $+ n$; ii) in the muon capture most of the released energy is «invisible», because it is carried away in the form of neutrinos, a

*It took 15 years before the two particle reactions $\mu^- + p \to n + \nu_\mu$, $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu_\mu$ were directly observed in the experiments of R.Hildebrand and in our own experiments (together with R.Sulyaev et al).

conjecture which is supported by experiments and agrees with i); and iii) the muon spin must be 1/2.

Thus in 1947 I started to think in terms of weak interaction process [4], and understood first that both the muon capture by nuclei and the β decay are processes due to a definite weak interaction existing in nature. It was clear to me that the muon is a sort of heavy electron and that the muon-electron symmetry is taking place under a type of interaction which is properly called weak, grace to the smallness of the corresponding constant G — the Fermi β-decay constant.

A similar point of view was adopted later [7] to include among weak processes the muon decay by O.Klein; G.Puppi; T.D.Lee, M.Rosenbluth, and C.N.Yang; J.Tiomno and J.A.Wheeler.

The original 1947 idea that there exists a muon-electron symmetry in nature was the first hint of a universal weak interaction (but how far away still from the 1957 form of such interaction, the *V–A* theory of Marchak—Sudarshan and Feynman—Gell-Mann, implemented later by the Cabibbo hadron mixing, the Glashow—Weinberg—Salam «final» electro-weak interaction with the Higgs mechanism, the discoveries of neutral currents and of W^+, W^-, Z^0).

The main physical content of my 1947 idea is still not understood today; it does concern the existence of families of leptons (and families of quarks). Why there exist in nature such families? I must say that the existence of several (weak) processes, in addition to the β-decay process, seemed clear to me in 1947 (much more clear than today). Anyway my credo in 1947 led to my expectation that there must exist a number of weak interaction processes in addition to the β decay. Below I shall be concerned only with processes of the «charged current» type, although neutral current processes later turned out to be quite relevant.

Because the weak interaction conception was formulated first for the capture of muons and electrons, for some time I believed that every weak process must imply the participation in it of neutrinos. This wrong idea maybe slowed down the development of the notion of weak interaction, but the discovery of new unstable particles unmistakably widened the weak interaction conception to include hadrons.

Strange Particles and the Weak Interaction

I shall not give details about the very important investigations and discoveries of new particles [8]. I am limiting myself to few particle discoveries (which I remember very well), sufficient to illustrate the question about the weak interaction being responsible for the particle decay. In a short period starting from 1947 there were discovered a number of unstable new particles, some electrically neutral and some electrically charged. Among the neutral particles, one could definitely recognise in a cloud chamber those having baryon charge, later called Λ^0, and decaying slowly according to the scheme $\Lambda^0 \to p + \pi^-$ [8]. Besides, in a very clean way it was shown [8] that some charged mesons, called now K mesons, décay into pions: $K^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-$. Here too, the decay was slow as indicated by the very fact that the meson has time

enough to stop in a thick photoplate before its decay. The properties of Λ^0 and K^+ were in my opinion an indication that the decays $\Lambda^0 \to p + \pi^-$, and $K^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-$ are due to a weak interaction and probably to the same weak interaction which is responsible for the β-decay and muon processes. A similar point of view was expressed independently by N.Dallaporta (Nuovo Cim., 1955, vol.1, p.962).

At the time physicists usually reasoned in terms of the Yukawa process and only strong processes at high energy were considered. However such a picture would fail to explain the generation and the decay of such (strange) particles like Λ^0 and K. These particles are copiously produced in cosmic rays, but have a quite long lifetime: they have a strange behaviour, if one assumes that the process of particle generation is fundamentally the same as the decay process. However, if we assume that the strange particles are generated in strong processes, but decay in weak interaction processes, then there are no more difficulties. If we assume that Λ^0 and K are generated (together), the difficulties connected with the long mean life of both baryons such as Λ^0 and of mesons such as K are resolved together [2]. At this moment I would like to tell about an episode. In the early 50's once a week from Moscow to Dubna came several theoreticians with the function to conduct seminars at high level. Among them often appeared I.Pomeranchuk, who liked them very much and right away organized the seminar just to illustrate the (curious) properties of hyperons and kaons along the lines I had suggested, that is: the (weak) decays of hyperons and kaons are not due to the (strong) interaction which together generates them. Since 1947 I had been expecting new weak processes, so that I was very happy about all this. I felt that the notion of weak interaction became wider once again, but in new processes. Thus at the time the weak interaction appeared to me as an universal interaction, acting between any group of four fermions. This was not very far from today point of view: W decays into elementary particles, leptons and quarks (and only that way) there being some choice of flavour (masses) for the decay products.

On the basis of the simple arguments expressed above I introduced [2], independently of Pais [9], the idea of pair production of the new particles, more exactly the pair production of hyperons and kaons.

The Reactions $N + N \to N + \Lambda^0$ and $n + n \to \Lambda^0 + \Lambda^0$

The question of strange particle generation can be investigated effectively in experiments performed near the production threshold. We investigated experimentally the question of a possible generation of Λ^0 particles in nucleon-nucleon collisions [3]. The method we used was due to a brilliant suggestion of R.Garwin [10], who also was investigating the production of Λ^0 particles. The idea of Garwin was that in some experiments it is convenient to register Λ^0 particles, by detecting photons from π^0's emitted in the channel $\Lambda^0 \to n + \pi^0$. Our experiment at the time was interesting,

because Schein et al. [11] had claimed to have detected the production of Λ^0 particles, and the question as to whether Λ^0 are produced is one of principles [1,2,3].

In our experiment, in which 670 MeV protons from the Dubna synchrocyclotron impinging on the accelerator internal carbon target were used, we reached the conclusions that Λ^0 are not produced either in the reaction $N + N \to N + \Lambda^0$ or in the reaction $n + n \to \Lambda^0 + \Lambda^0$.The absence of the reaction agreed well with the idea [2,9] of generation of two new particles together.

As for the vanishing value of the cross section for the reaction $n + n \to \Lambda^0 + \Lambda^0$, this was just the expectation of M.Gell-Mann (and of K.Nishijima), for reasons which today are obvious to everybody. Two words about our interpretation of such vanishing value, which we were able to give correctly, even without possessing the notion of strangeness.

I had figured out a scheme based on the assumption that there is a strong interaction responsible for the generation of new particles (two at the same time) and conserving the isotopic spin and the weak interaction, responsible for the decays of particles and non-conserving the isotopic spin. The isotopic spin has a meaning only in a strong interactions and cannot be determined by weak decays. There arises the possibility of existence of fermions with integer isotopic spin (example Λ^0) and of bosons with half integer isotopic spin (example kaons). The scheme allowed to interpret the failure to observe the reaction $n + n \to \Lambda^0 + \Lambda^0$, through the assumption that the isotopic spin of the kaon is 1/2 (that is $K^0 \neq \tilde{K}^0$) and to make a number of predictions. Of course the conservation of strangeness is identical with the conservation of the third component of the isotopic spin. However the notion of strangeness was a very powerful tool without which physics could not have made the great steps ahead it did. As we know now the physical content of strangeness is that charge multiplets of hadrons are classified by the number (0,1,2,...) of something material — the number of s quarks they contain.

In conclusion I would say that at the Pisa conference of 1955, mainly as a result of the wonderful talk of M.Gell-Mann, the notion of weak interaction, which was introduced in 1947 [4] became finally established.

I am very grateful to S.M.Bilenky for discussions.

Jont Institute for Nuclear Research, Dubna July 30, 1985

REFERENCES

1. *Gell-Mann M.* // Proc. Int. Coll. on the History of Particle Physics, Paris, July 1982, p.C8-395.
2. *Pontecorvo B.* // ZhETF, 1955, vol.29, p.140, with quotations on previous papers.
3. *Balandin M.P., Balashov B.D., Zhukov V.A., Pontecorvo B., Selivanov G.I.* // ZhETF, 1955, vol.29, p.265, with quotations on previous papers.
4. *Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1947, vol.72, p.246.
5. *Conversi M., Pancini E., Piccioni O.* // Phys. Rev., 1947, vol.71, p.209.
6. *Fermi E., Teller E., Weiskopf V.* // Phys. Rev., 1947, vol.71, p.314.

7. *Klein O.* // Nature, 1948, vol.161, p.897;
Puppi G. // Nuovo Cim., 1948, vol.5, p.587;
Lee T.D., Rosenbluth M., Yang C.N. // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.905;
Tiomno J., Wheeler J.A. // Rev. Mod. Phys., 1949, vol.21, p.144.
8. See, for example, Proc. Int. Coll. on the History of Particle Physics, Paris, July 1982, the articles of C.C.Butler, p.C8-177; R.H.Dalitz, p.C8-195; W.S.Fretter, p.C8-191; L.Leptince-Rinquet, p.C8-165; O'Cellaigh, p.C8-185; Ch.Peyrou, p.C8-185; Ch.Peyrou, p.C8-7; G.D.Rochester, p.C8-169; J.Rosch, p.C8-215; J.Six and X.Artru, p.C8-465.
9. *Pais A.* // Phys. Rev., 1952, vol.86, p.655.
10. *Garwin R.L.* // Phys. Rev., 1953, vol.90, p.274.
11. *Schein M., Haskin D., Glasse R., Fainberg F., Brown K.* Congress International sur le rayonement cosmique, Bagnere de Bigorre, 1953.

СТРАНИЦЫ РАЗВИТИЯ НЕЙТРИННОЙ ФИЗИКИ*

1. Введение

Пять лет назад в день семидесятилетия Э.Амальди я был приглашен сделать обзорный доклад по нейтринной физике на международном совещании физиков, большинство из которых не были специалистами в данной области. Этот доклад, однако, не был опубликован в печати. В 1980 г. я прочел доклад, предназначенный для специалистов в области нейтринной физики и астрофизики, на международной конференции «Нейтрино-80» [1]. Совсем недавно я представил доклад на международный коллоквиум по истории физики элементарных частиц, состоявшийся в Париже [2]. Редакция журнала «Успехи физических наук» предложила мне подготовить статью на основе этих докладов. Представленная здесь статья, естественно, довольно эклектична: в ней рассказывается об общеизвестных для специалистов моментах и событиях в истории нейтринной физики и о малоизвестных эпизодах, об очень старом и иногда совсем новом. Цитированная литература совершенно не полная и носит довольно случайный характер... То, о чем рассказано, не есть последовательное описание развития нейтринной физики. Это лишь несколько эпизодов из истории нейтринной физики. При этом я рассказываю только о событиях, которые оказали влияние на меня лично. Некоторые из них имеют решающее значение в истории нейтринной физики и астрофизики, другие — не так существенны, но хорошо мне известны. Все эти эпизоды я «видел» собственными глазами либо глазами людей, которые были мне близки. Я прошу прощения у многих физиков, в том числе у некоторых моих друзей, за то, что не уделил им того внимания, на которое они имели бы право рассчитывать в объективном изложении.

Итак, мой рассказ будет очень субъективен. Он предназначен и для неспециалистов, и для молодых исследователей физики нейтрино, которые хорошо информированы о сегодняшних и вчерашних событиях, но не так хорошо — о старинных. Такие физики привыкли мыслить в терминах 10^5 или 10^6 нейтринных событий. Они забыли (или никогда не знали), что через 16 лет после «изобретения» нейтрино Паули оно все-таки рассматривалось как недетектируемая частица.

Физика нейтрино — почти синоним физики слабых взаимодействий, хотя разница существует. Эту разницу я учитывал не всегда.

2. Перечисление существенных событий. Большие нейтринные установки

Ниже в форме таблиц представлено перечисление событий, произошедших в физике нейтрино. Сделано это, во-первых, с целью уменьшить каким-то образом субъективный характер рассказа. И все-таки таблицы также не объективны. В них упомянуты события, которые имели решающее значение или инициировали боль-

*УФН, 1983, т.141, вып.4, с 675—709.

шое количество исследовательских работ. Вторая цель таблиц такова: даже сухое, субъективное и неполное перечисление событий даст возможность читателю быстро войти в атмосферу тех лет, о которых идет речь.

Вначале я готовил таблицы, не пользуясь литературой, просто по памяти. Когда, наконец, нужно было что-либо уточнить или дополнить, мне приходилось тратить много времени, но поправок было немного.

Таблицы относятся к четырем периодам, выбранным более или менее произвольно:

первая — от открытия радиоактивности до гипотезы нейтрино, теории β-распада Ферми и до обнаружения свободных нейтральных лептонов (инкубационный период и детство нейтринной физики);

вторая — от наблюдения слабых процессов, отличных от β-распада, до открытия несохранения четности в слабых процессах, *V–A*-универсальной теории и до наблюдения нарушения *PC* (юность нейтринной физики);

третья — от рождения физики нейтрино высоких энергий и обнаружения двух типов нейтрино до открытия нейтральных токов, τ-лептона, процессов распада очарованных частиц и теории электрослабых взаимодействий (зрелость нейтринной физики);

четвертая — нейтрино в астрофизике, астрономии и космологии.

В дополнительных табл. 3а, 3б и 3в приводятся некоторые сведения о нейтринных пучках и крупных нейтринных детекторах (по состоянию на 1980 г.). Большое количество работ, о которых я не смог упомянуть, выполнены и выполняются в настоящее время в различных лабораториях.

Уже первый взгляд на таблицы обнаруживает, как главное, огромный рост физики нейтрино, которая стала количественной наукой, здоровой и мощной и все-таки сулящей качественные неожиданности.

Таблица 1. От открытия радиоактивности до гипотезы нейтрино, теории β-распада и до обнаружения свободных нейтрино (1896—1956)

Год	Событие	Авторы
1896	Открытие радиоактивности	Беккерель
1899	Открытие β-лучей	Резерфорд
1908—1928	Счетчики (пропорциональные и гейгеровские), способные регистрировать отдельные заряженные частицы	Гейгер, Резерфорд, Мюллер
1912	Камера Вильсона	Вильсон
1914	Непрерывный спектр β-лучей	Чадвик
1925	Метод толстых фотопластинок	Мысовский
1927	Измерение тепла, освобожденного при поглощении β-лучей	Эллис, Вустер
1927	Квантовая теория излучения	Дирак
1928	Релятивистское уравнение частиц со спином 1/2	Дирак
1929	Двухкомпонентная теория фермионов с нулевой массой	Вейль
1930	«Изобретение» нейтрино	Паули

Год	Событие	Авторы
1932	Открытие позитрона	Андерсон
1932	Открытие нейтрона	Чадвик
1932—1933	Ядро состоит из нуклонов	Иваненко; Гейзенберг; Майорана
1933	Теория β-распада	Ферми
1934	Искусственная радиоактивность	Кюри, Жолио
1934	β-радиоактивность с испусканием позитронов	Кюри, Жолио
1934	Первое обсуждение обратного β-распада	Бете, Пайерлс
1934	Эффект Вавилова–Черенкова	Вавилов, Черенков
1935	Мезонная теория ядерных сил	Юкава
1935	Первый опыт по обнаружению ядра отдачи в β-распаде	Лейпунский
1935	Первое рассмотрение двойного β-распада	Гепперт-Майер
1936	Далеко идущие следствия того факта, что константа Ферми не безразмерна	Гейзенберг
1936	Диаграмма Кери	Кери, Ричардс, Пакстон
1936	Правила отбора Гамова–Теллера в β-распаде	Гамов, Теллер
1937	Нейтрино Майораны	Майорана
1937	Наблюдение захвата орбитальных электронов ядрами	Альварес
1937	Впервые упоминаются слабые нейтральные токи	Кеммер
1938	Открытие мюона	Андерсон, Недермейер
1939	Диффузионная камера	Лангсдорф
1939	Первое обсуждение безнейтринного двойного β-распада	Фарри
1939	Первая идея о неабелевом промежуточном бозоне	Клейн
1942	Первый ядерный реактор	Ферми
1944	Принцип автофазировки. Через несколько лет начнется эра опытов, выполненных на новых типах мощных ускорителей	Векслер; Макмиллан
1945—1959	Кристаллические счетчики и полупроводниковые детекторы	Ван-Гердин; Мак-Кей; Мак-Кензи; Бронлей
1946	Предложение зарегистрировать нейтрино низких энергий с помощью методов радиохимии	Понтекорво
1947	Сцинтилляционный счетчик	Кальман
1948	Наблюдение радиоактивности нейтрона	Снель; Робсон; Спивак
1949	Первые измерения β-спектра трития	Керран и др.; Ханна, Понтекорво
1950	Черенковский счетчик	Джелли

Год	Событие	Авторы
1952	Пузырьковая камера	Глазер
1953	Понятие лептонного заряда	Маркс; Зельдович; Конопинский, Махмуд
1953—1956	Первое наблюдение свободных антинейтрино от реактора	Райнес, Коуэн
1956	Реакция $\bar{\nu}_e + {}^{37}Cl \to e^- + {}^{37}Ar$ не наблюдается	Дэвис

Таблица 2. От наблюдения слабых процессов, отличных от β-распада, до открытия несохранения четности в слабых процессах, создания *V–A*-универсальной теории и до обнаружения *CP*-неинвариантности (1941—1967)

Год	Событие	Авторы
1941	Прямое доказательство радиоактивности мюона и измерение его времени жизни (опыт выполнен в космических лучах)	Разетти; Росси, Неренсон
1947	Мюон — не адрон (эксперимент выполнен в области космических лучей)	Конверси, Панчини, Пиччиони
1947	«Двухмезонная» теория	Маршак, Бете
1947	Открытие пиона и распада $\pi \to \mu\nu$ (опыт выполнен в космических лучах)	Латтес, Оккиалини, Пауэлл
1947—1948	Концепция глубокой аналогии между электроном и мюоном (универсальность 4-фермионных взаимодействий) и понятие «слабых процессов»	Понтекорво; Клейн; Пуппи
1947	Открытие странных частиц в космических лучах	Рочестер, Ботлер; Лепренс-Ренге
1948	Отсутствие процесса $\mu \to e\gamma$ (опыт выполнен в космических лучах)	Хинкс, Понтекорво; Сард, Алтауз; Пиччиони
1948	Наблюдение искусственных пионов. После этого знаменательного события на ускорителях точные измерения пионных, мюонных масс и времен жизни были выполнены и выполняются до сих пор. Позднее начаты количественные исследования свойств странных частиц на ускорителях во всем мире	Гарднер, Латтес
1949	В μ-распаде испускаются три частицы, одна из которых — электрон (опыт выполнен в космических лучах)	Хинкс, Понтекорво; Андерсон, Штейнбергер; Жданов
1950	Параметр ρ, характеризующий μ–e-распад	Мишель
1950	Предложена сильная фокусировка в ускорителях	Кристофилос и др.

Год	Событие	Авторы
1952	«Остается не дающая покоя возможность того, что *P* и *C* оба являются приближенными, а *PC* является единственно точным законом симметрии»	Вик, Уайтман, Вигнер
1953	Адронные изотопические мультиплеты — странность	Гелл-Манн; Нишиджима
1954	Поля Янга–Миллса	Янг, Миллс
1955—1956	Дуальные свойства и осцилляции нейтральных каонов	Гелл-Манн, Пайс, Пиччиони
1955	Первое наблюдение антипротона	Чемберлен, Сегре
1954	Теорема *CPT*	Людерс; Паули
1955—1956	θ–τ-парадокс, т.е. несохранение четности в распадах странных частиц	Уайтхед и др.; Баркас и др.; Далитц и др.; Гаррис и др.; Фитч и др.
1955	Сохранение векторного слабого тока	Герштейн, Зельдович
1955	Принцип «селективного импульсного питания», на котором основана работа таких трековых детекторов, как искровые и стримерные камеры	Конверси, Гоцини; Тяпкин
1956	Открытие долгоживущего нейтрального каона	Ланде и др.
1956	Сохраняется ли четность в слабых взаимодействиях?	Ли, Янг
1957	Гипотеза *PC*-инвариантности	Ландау; Ли, Янг
1957	*P* и *C* нарушаются в распаде кобальта-60	Ву и др.
1957	*P* и *C* нарушаются в π- и μ-распадах	Гарвин, Ледерман, Вейнрих, Телегди
1957	Первая модель объединения слабых и электромагнитных взаимодействий	Швингер
1957	Двухкомпонентное нейтрино	Ландау; Салам; Ли, Янг; Сакураи
1957	Наблюдение продольной поляризации β-частиц	Фрауенфельдер и др.; Алиханов и др.; Никитин и др.
1957	Осцилляции нейтрино?	Понтекорво
1957	Универсальное слабое взаимодействие *V–A*	Гелл-Манн, Фейнман; Маршак, Сударшан
1957—1958	Измерена угловая корреляция между электроном и нейтрино в β-распаде (^{35}Ar, ^{6}He). (Наконец найдено согласие с теорией *V–A*)	Херманcфельт и др.

Год	Событие	Авторы
1958	Процесс $\pi \to e\nu$ наконец наблюден с вероятностью в согласии с теорией *V–A*	Фацини, Фидекаро и др.; Импедулья, Шварц, Штейнбергер и др.
1958	Ионизационный калориметр	Григоров, Мурзин и др.
1958—1963	*SU*(3)-симметрия и слабое взаимодействие, теория Кабиббо	Гелл-Манн, Леви; Кобзарев, Окунь, Кабиббо
1958	Роль сильных взаимодействий в слабых процессах. Частично сохраняющийся аксиальный ток	Гольдбергер, Тримэн
1958	Определение левой спиральности нейтрино	Гольдхабер и др.
1958	β-распад поляризованных нейтронов	Телегди и др.; Робсон и др.
1959	«Киевская симметрия», т.е. «предкварковая» лептон-адронная симметрия	Гамба, Маршак, Окубо
1962	Наблюдение и исследование реакции $\mu^- + p \to n + \nu_\mu$ в водороде	Хильдебранд
1962	Наблюдение и исследование реакции $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu_\mu$	Фаломкин и др.
1962—1963	Наблюдение распада $\pi^+ \to \pi^0 + e + \nu_e$	Дунайцев, Петрухин, Прокошкин и др.; Депомье, Мухин, Руббиа и др.
1963	В опыте, предложенном Гелл-Манном, найдено, что в распадах ${}^{12}B$ и ${}^{12}N$ сохраняется векторный ток	Ли, Мо, Ву
1964	Несохранение *PC*	Кристенсен, Фитч, Кронин и др.
1964	Сверхслабое взаимодействие?	Вольфенштейн
1967	Зарядовая асимметрия в лептонных распадах K_L^0	Дорфан и др.; Беннет и др.
1967	Точное измерение асимметрии электронов в распаде мюонов	Гуревич и др.

Таблица 3. От рождения физики нейтрино высоких энергий и открытия двух типов нейтрино до открытия нейтральных токов, τ-лептона, слабых распадов очарованных частиц и теории электрослабых взаимодействий (1959—1980)

Год	Событие	Авторы
1959—1960	Нейтрино высоких энергий. Практическое предложение нейтринных экспериментов на ускорителях, которое открыло новую область в физике слабого взаимодействия	Понтекорво, Марков; Шварц
1959	Искровая камера	Фукуи, Миямото

Год	Событие	Авторы
1959—1974	Несохранение четности в атомах?	Зельдович; Бушья, Хриплович
1961—1962	Калибровочная теория электрослабых взаимодействий	Глэшоу
1962	$\nu_e \neq \nu_\mu$	Дембм и др. (Брукхейвен)
1963	Магнитный «горн»	Ван дер Меер (ЦЕРН)
1963	Локализация взаимодействий нейтрино в эмульсиях при помощи искровых камер	Буроп и др.
1963	Стримерная камера	Чиковани и др.; Долгошеин и др.
1963	Первые нейтринные опыты, в которых использовалась пузырьковая камера	Блок и др.
1964—1967	Открыты на опыте слабые ядерные силы	Абов и др.; Лобашов и др.
1964	Кварки с дробными зарядами (u, d, s)	Гелл-Манн; Цвейг
1966—1976	Электронное охлаждение, стохастическое охлаждение. Идея $\bar{p}p$-коллайдера	Будкер, Скринский, Ван дер Меер, Руббиа, Клейн и др.
1964	Механизм, обеспечивающий возникновение конечной массы векторных мезонов благодаря спонтанному нарушению симметрии	Хиггс
1964	$\nu_\mu \neq \tilde{\nu}_\mu$	Бернардини и др. (ЦЕРН)
1963—1964	Адронное и лептонное смешивание. Теоретическое введение чарма	Маки и др.; Накагава, Оконоки, Саката, Тойода; Бьеркен, Глэшоу; Владимирский; Окунь
1964—1965	Цвет кварков; кварки с целым электрическим зарядом	Гринберг; Боголюбов, Струминский, Тавхелидзе; Хан, Намбу; Миямото
1964—1970	Поиски процессов $K^+ \to \pi^+e^+e^-$ и $K^+ \to \pi^+\nu\tilde{\nu}$	Камерини, Клайн и др.; Клемс, Хильдебранд и др.
1965	Благодаря неупругим каналам полное сечение $\nu_\mu + n \to \mu^- + \ldots$, вероятно, будет увеличиваться с энергией налетающих нейтрино, несмотря на нуклонный формфактор, который ограничивает увеличение сечения «упругого» рассеяния $\nu_\mu + n \to \mu^- + p$	Марков

Год	Событие	Авторы
1967	Квантование безмассовых полей Янга—Миллса	Фаддеев, Попов; де Витт
1967—1968	Калибровочная модель электрослабого взаимодействия на основе механизма Хиггса	Салам; Вайнберг
1968	Пропорциональные и дрейфовые камеры	Шарпак
1969	Скейлинг	Бьеркен
1969	Партонная модель	Фейнман
1971	Квантование массивных полей Янга—Миллса. Перенормируемость теории Вайнберга—Салама	Г.Хоофт, Руббиа и др.
1971	Идея использовать мишень-калориметр в нейтринных опытах	Руббиа и др.
1972	Что нейтрино могут нам сказать относительно партонов?	Фейнман
1972	Механизм ГИМ (четвертый кварк необходим для объяснения того факта, что асимметричные недиагональные нейтральные токи отсутствуют)	Глэшоу, Иллиопулос, Майяни
1972—1980	Полные ν_μ- и $\bar{\nu}_\mu$-сечения на нуклонах увеличиваются линейно с энергией	ЦЕРН, Гаргамель, позже другие установки
1972—1980	Кварк-партонная модель подтверждается измерениями заряженных токов в ν- и $\bar{\nu}$-пучках	ЦЕРН, Гаргамель, позже другие установки
1973	Наблюдения нейтральных токов в процессе $\nu_\mu + e^- \to \nu_\mu + e^-$	ЦЕРН, Гаргамель, позже другие установки
1973	Наблюдение нейтральных токов в безмюонных событиях $\nu_\mu + N \to \nu_\mu + \ldots$	ЦЕРН, Гаргамель, Фермилаб, ГПВ, позже другие установки
1973	Распад нуклона?	Пати, Салам; Джорджи, Глэшоу
1974	J/ψ-частица	Тинг и др.; Рихтер и др.
1975	Масса промежуточных бозонов >17 ГэВ	Батавия, Калифорн. техн. институт
1975	Подробное предложение регистрировать «прямые» нейтрино для изучения образования чармированных частиц в нуклон-ядерных соударениях	Понтекорво
1975	Первый чармированный барион, найденный в Брукхейвенской водородной пузырьковой камере под действием нейтрино	Брукхейвен, Кассоли и др.

Год	Событие	Авторы
1975	Пары $\mu^+\mu^-$, найденные в ν_μ- и $\bar{\nu}_\mu$-событиях, показывают образование чармированных частиц нейтрино	Фермилаб — ГВПФ
1975	Первое наблюдение τ-лептона	Перл и др.
1976	Масса ν_e меньше 35 эВ (измерение спектра трития)	Третьяков, Любимов и др.
1976	Обнаружение рассеяния $\bar{\nu}_e$–e (опыт выполнен на реакторе)	Райнес, Гур, Собель
1976	Наблюдение упругого $\nu_\mu p$- и $\bar{\nu}_\mu$–p-рассеяния и нарушение четности в слабых адронных нейтральных токах	Брукхейвен — Гарвард — Пенсильвания — Висконсин; Колумбия — Иллинойс — Рокфеллер
1977	Предложение практического применения регистрации нейтрино в атомных станциях (измерение мощности, накопления Pu..., горения U...)	Микаэлян и др.
1977	Открытие ипсилона — мезона, связанного состояния $(b\bar{b})$ кварков	Ледерман и др.
1977	Вскоре после пуска 400 ГэВ протонного ускорителя в ЦЕРН начинается третье поколение рафинированных нейтринных опытов с высокой статистикой	ЦДГС, БЭПС и позже ШАРМ
1978	Несохранение четности в атомах в согласии с моделью Вайнберга—Салама	Барков, Золотарев
1978	Рассеяние поляризованных электронов на дейтерии подтверждает модель Вайнберга—Салама и дает значение $\sin^2\theta_W$ в согласии с наилучшими нейтринными опытами CDHS и CHARM	Прескот и др.
1978	Масса $\nu_\mu \leq 0{,}57$ МэВ	Фрош и др.
1978	Устанавливаются некоторые важные свойства τ- и ν_τ-лептонов: $m_\tau = 1782^{+2}_{+7}$ МэВ, $m_{\nu_\tau} < 250$ МэВ; V–A вариант	Киркби и др.; Фельдман и др.

Таблица 3а. Пучки нейтрино высоких энергий (по состоянию на 1980 г.)

Ускоритель	Энергия протона, ГэВ	Длина распада, м	Мюонная защита, м	Энергия нейтрино, ГэВ
АНЛ	12,4	30	13 (Fe)	0,3—6
ЦЕРН	27	70	22 (Fe)	1—12
БНЛ	29	57	30 (Fe)	1—15
ИФВЭ	70	140	62 (Fe)	2—30
ФНАЛ	300—400	340	1000 (грунт + Fe)	10—200
ЦЕРН	400	430	220 Fe + 150 грунт	10—200

Таблица 3б. Большие пузырьковые камеры (по состоянию на 1980 г.)

Пузырьковая камера	Наполнение	Полезный объем, м^3	Масса, т
Гаргамель, ЦЕРН	CF_3Br	5	7—9
12' АНЛ (США)	H_2, D_2	16	1—2
7' БНЛ (США)	H_2, D_2	6	0,4
15' ФНАЛ (США)	H_2 H_2 + Ne (20%) H_2 + Ne (64%)	20 20 20	1,3 7 22
СКАТ, ИФВЭ (СССР)	CF_2Br	4,5	7
BEBC, ЦЕРН	H_2, D_2, Ne	20—25	

Таблица 3в. Электронные детекторы нейтрино на ускорителях высоких энергий (по состоянию на 1980 г.)

Ускоритель	Сотрудничество	Полезная масса мишени, т
ЦЕРН	Аахен—Падуя	20
ЦЕРН	ЦЕРН—Дортмунд—Гейдельберг—Сакле (CDHS)	900
ЦЕРН	ЦЕРН—Гамбург—Амстердам—Рим—Москва (CHARM)	100
БНЛ	Гарвард—Пенсильвания—Висконсин	30
БНЛ	Колумбия—Иллинойс—Рокфеллер	8
ИФВЭ, Серпухов	ИТЭФ—ИФВЭ	30
ФНАЛ, Батавия	Гарвард—Пенсильвания—Висконсин—Фермилаб (ГВПФ) Калифорния—Технологический институт, Фермилаб	20 100

Таблица 4. Нейтрино в астрофизике, астрономии и космологии (1939—1980)

Год	Событие	Авторы
1939	Испускание нейтрино в термоядерных реакциях Солнцем и другими звездами	Бете
1941	Сверхновые звезды и процесс «урка»	Гамов, Шенберг
1946	Предложение радиохимических методов для детектирования нейтрино, например метод ^{37}Cl–^{37}Ar, использованный в нейтринной солнечной астрономии	Понтекорво
1946	Теория горячей Вселенной	Гамов
1958	^{8}B как источник солнечных нейтрино относительно высокой энергии	Фаулер
1959	Испускание нейтрино горячими звездами связано с универсальным взаимодействием Ферми (процесс $\nu + e \to \nu + e$)	Понтекорво
1960	Важность выполнения опытов глубоко под землей или под водой для физики элементарных частиц и астрофизики	Марков; Грейсен
1961	Феноменологическое рассмотрение возможного существования «нейтринного» моря	Понтекорво, Смородинский

Год	Событие	Авторы
1961	Космологический верхний предел количества невидимой энергии во Вселенной	Зельдович, Смородинский
1963	Пары $\nu\bar{\nu}$ и гипотетические нейтральные токи	Понтекорво
1963	Большой детектор (атмосферных) космических нейтрино помещен на глубину 8700 м э.в. в южно-африканской шахте (8 лет измерения, 100 нейтринных событий)	Райнес и др.
1964	Нейтринные звезды?	Марков
1965	Телескопы и магнитные спектрометры, предназначенные для детектирования (атмосферных) космических нейтрино, помещены на глубину 7500 м э.в. в золотодобывающей шахте в Южной Индии (6 лет измерений, 20 нейтринных событий)	Кришнасвами, Осборн и др.
1965—1966	Нейтринные процессы в массивных звездах и сверхновые звезды	Фаулер, Хойл, Колгате, Уайт
1965	Испускание регистрируемых нейтрино ($E_\nu \geq$ 10 МэВ) в коллапсе холодных звезд, т.е. в процессе нейтронизации: $e^- + {}^Z A \to \nu_e + {}^{Z-1}A$	Зельдович
1965	Предложение опыта, предназначенного для регистрации нейтрино от коллапсирующих звезд	Домогацкий, Зацепин
1965	Открытие реликтового электромагнитного излучения, подтверждающее теорию горячей Вселенной и требующее присутствия аналогичного реликтового моря нейтрино	Пензиас; Вильсон; Дик и др.; Зельдович, Новиков; Вайнберг
1966	Верхний предел массы ν_μ, полученной с помощью космологических данных	Герштейн, Зельдович
1967	Необходимость выяснения вопроса о сохранении лептонного заряда (осцилляции нейтрино) для будущего нейтринной астрономии Солнца	Понтекорво
1972	Что можно ожидать из Cl–Ar-опыта по регистрации солнечных нейтрино, на основании солнечной стандартной модели	Бакалл
1975—1977	Космический источник сверхвысоких энергий	Березинский, Зацепин
1977	Количественная теория сверхновых звезд, в которой тепло от нейтрино поджигает термоядерные реакции в углероде	Герштейн и др.
1977	Сцинтилляционный телескоп ИЯИ АН СССР помещен на глубину 850 м э.в. в долине Баксана, полная масса 300 т (3150 модулей)	Чудаков и др.
1977	Детектор нейтрино сверхвысоких энергий, основанный на акустических волнах	Долгошеин и др., Сулак и др.
1977	Важность нейтрино, испускаемых коллапсирующими звездами для нуклеосинтеза, особенно для объяснения содержания элементов, обогащенных протонами	Домогацкий
1978	Обнаружение солнечных нейтрино с помощью Cl–Ar-метода в опыте, который продолжался более 10 лет	Дэвис и др.

Год	Событие	Авторы
1978	Черенковский водяной детектор (500 т) Пенсильванского университета, помещенный под землей в Южной Дакоте, Огайо и под Монбланом	Ланде и др.
1978	Сцинтилляционный детектор ИЯИ АН СССР (100 т) помещен в соляные шахты (600 м э.в.) в Артемовске	Зацепин и др.
1980	Сцинтилляционные детекторы нейтрино от коллапсирующих звезд (60 модулей каждый 2 м^3) ИЯИ АН СССР помещены под Монбланом	Сотрудничество ИЯИ — Туринский университет
1980	Проект: оптико-акустический водяной детектор объемом ~1 км^3, помещенный глубоко под водой	Проект ДЮМАНД

3. Паули

Трудно найти пример, где слово «интуиция» характеризовало бы человеческий подвиг лучше, чем в случае «изобретения» нейтрино Паули.

Во-первых, 50 лет тому назад были известны только две «элементарных» частицы — электрон и протон, и даже мысль, что для понимания вещей необходимо ввести новую частицу, была сама по себе революционной идеей. Какая разница по сравнению с сегодняшним положением, когда масса людей при возникновении малейшей провокации готовы изобрести любое число частиц!

Во-вторых, изобретенная частица — нейтрино должна была иметь совершенно экзотические свойства, в особенности колоссальную проникающую способность. Правда, Паули не вполне осознал такое неизбежное следствие своей идеи и скромно допускал, что нейтрино может иметь проникающую способность, примерно равную или даже в 10 раз больше, чем γ-лучи. Кстати, термодинамический аргумент, основанный на соображениях размерности, показывающий, что нейтрино с энергией 1 МэВ или с соответствующей длиной волны $\lambda \approx 10^{-11}$ см должно иметь астрономически большую длину свободного пробега (скажем, равную толщине конденсированного вещества, в миллиард раз превышающей расстояние от Земли до Солнца), впервые был дан Бете и Пайерлсом [3]. Они в 1934 г. рассматривали два обратных друг к другу процесса: процесс β-распада $Z \to (Z+1) + e^- + \bar{\nu}$, происходящий с характерным временем T, и обратную реакцию $\bar{\nu} + (Z+1) \to Z + e^+$, характеризующуюся при соответствующей энергии нейтрино сечением

$$\sigma \le \lambda^2 \frac{1}{T} \frac{\lambda}{c}.$$

Сегодня этот аргумент очевиден (почти все хорошие доводы кажутся тривиальными a posteriori). Он сильно повлиял на меня, и я не забыл его много лет спустя, когда предложил, как провести опыты для обнаружения свободных нейтрино от реакторов и Солнца [4].

В-третьих, из-за своей фантастической проникающей способности нейтрино казалось вначале такой частицей, которая не может быть обнаружена в свободном состоянии. О его существовании приходилось судить косвенным образом на основании законов сохранения энергии и импульса, регистрируя ядра отдачи в β-распаде с помощью метода, который сейчас всюду используется для поисков нейтральных частиц — так называемого метода недостающей массы. Опыты такого типа были предложены Паули, а первый из них был выполнен Лейпунским [5] в Кембридже.

Здесь я хотел бы подчеркнуть, что 50 лет назад был известен только один довольно сложный процесс с участием нейтрино — бета-распад (тяжелых ядер), в результате которого в конечном состоянии появляются три частицы. Эллис и др. показали, что средняя энергия частиц, испускаемых в бета-распаде (измерена с помощью калориметра), равна средней энергии спектра бета, измеренной с помощью магнитного спектрометра. Этот очень важный момент, вместе с фактом существования максимальной энергии β-лучей, Паули не оставил без внимания. Все другие процессы, в которых участвует нейтрино, не были тогда известны. Среди них есть несколько двухчастичных распадов заряженных частиц, остановившихся в трековой камере ($\pi \to \mu\nu_\mu$; $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu_\mu + \ldots$). Такие распады оставляют «красивые автографы», поскольку испускаемая заряженная частица всегда имеет один и тот же импульс, конечно, равный импульсу невидимого нейтрино. Сегодня примеры таких событий, конечно, хорошо известны. Если бы такие события были обнаружены в допаулевском времени, не было бы необходимости в гении Паули, чтобы придумать нейтрино. Однако я хотел упомянуть здесь, что в это время Бор думал, что непрерывный бета-спектр мог быть связан с несохранением энергии в индивидуальных процессах, так что, строго говоря, для решения дилеммы — нейтрино или несохранение энергии — пользоваться законами сохранения нельзя.

Еще несколько слов по поводу истории изобретения Паули. Об этом сам Паули написал через несколько десятков лет после того, как выдвинул свою знаменитую гипотезу, которая, кстати, никогда не была опубликована в научных периодических журналах. Может быть, не все знают, что первая идея о существовании нейтрино появилась в письме Паули [6] группе специалистов по радиоактивности, которые должны были собраться на встречу в Тюбингене. Письмо начинается словами: «Дорогие радиоактивные дамы и господа...» На этом совещании Паули не присутствовал, поскольку большего он ожидал от бала, на котором хотел быть в Цюрихе вечером 6 декабря 1930 г. Однако это письмо содержало не только шутки! В нем были две идеи, которые могли принадлежать только человеку с гениальной интуицией. Эти идеи я сейчас сформулирую в сегодняшней и в паулевской терминологии:

1. В ядрах должны существовать электрически нейтральные частицы — нейтроны (Паули также называл их нейтронами), имеющие спин 1/2.

2. В бета-распаде совместно с электроном должна быть испущена нейтральная частица — нейтрино (Паули и ее назвал нейтроном) таким образом, что полная энергия электрона, нейтрино и ядра отдачи имеет определенное значение.

По существу, Паули изобрел две частицы одновременно, причем обе они были очень нужны (имеется в виду, помимо прочего*, так называемая азотная катастрофа, т.е. полученное в классических спектроскопических исследованиях Разетти доказательство того, что ядра ^{14}N подчиняются статистике Бозе, так что они вряд ли могут состоять из протонов и электронов).

По-видимому, Паули некоторое время ошибочно думал, что его частица одновременно выполняет функцию и нейтрино, и нейтрона. Скоро, однако, он изменил свою точку зрения, а именно в своей первой официальной публикации о нейтрино на Сольвеевском конгрессе 1933 г. [7].

Следующий колоссальный шаг был сделан Ферми.

4. Ферми (и пост-Ферми)

Ферми познакомился неофициально с гипотезой Паули в Риме на международном Конгрессе по ядерной физике (1931 г.), на котором обсуждалась проблема бета-распада. Именно здесь Бор высказывался в пользу несохранения энергии. Большое впечатление на Ферми произвела частица Паули, которую он начал называть «нейтрино». Как уже сказано, на Сольвеевском конгрессе 1933 г. впервые в обсуждении, которое появилось в печати, Паули рассказал о своей идее. Во время конгресса Ферми, по-видимому, уже глубоко размышлял над проблемой нейтрино: его знаменитая статья «Попытка построения теории бета-распада» [8] появилась спустя всего два месяца после окончания Сольвеевского конгресса. Это — количественная теория, которая имела большое влияние на развитие физики. Без сомнения, идея о существовании нейтрино без этого вклада Ферми осталась бы туманным представлением. Теория, с относительно небольшими, хотя и важными и многочисленными дополнениями, просуществовала вплоть до объединенной теории электрослабых взаимодействий Глэшоу—Вайнберга—Салама. Я уверен, что, будь Ферми жив, он сам сделал бы большинство необходимых дополнений под давлением экспериментальных фактов. О некоторых из них я расскажу дальше.

Я хотел бы сообщить здесь некоторые курьезные факты, связанные с появлением этой теории, факты, свидетелем которых я был сам, поскольку в это время работал в Риме.

1. Журнал «Nature» отказался публиковать статью Ферми, поскольку она выглядела слишком абстрактной для того, чтобы заинтересовать читателей. Я уверен, что издатель всю жизнь раскаивался в этом.

2. Второй курьез относится к трудностям, с которыми столкнулся Ферми при построении своей теории. Это были трудности не математического характера, а физического. Необходимую математику, вторичное квантование он освоил быст-

*Детали теоретических представлений о нейтроне до его экспериментального открытия Чедвиком (Резерфорд, Паули, Майорана) очень интересны, но я не имею возможности обсуждать их здесь. Я упомяну только, что Майорана, после того, как он прочел знаменитую статью супругов Жолио-Кюри о выбивании протонов из вещества излучением полоний-бериллиевого источника, заметил, что это явное доказательство в пользу «нейтрального протона» (т.е нейтрона)

ро, но самым трудным для него было понимание того факта, что электрон и нейтрино рождаются, когда нейтрон переходит в протон. Конечно, сегодня это знает каждый студент: взаимодействия элементарных частиц объясняются обменом элементарными частицами. Это — квантовая теория поля, которая является неизбежным следствием квантовой теории и теории относительности. Частицы рождаются и уничтожаются. Это и вызвало затруднение у Ферми. Паули, несмотря на свою пионерскую работу по квантовой электродинамике, не сформулировал четко этот момент. Читая знаменитую статью Ферми о β-распаде, видим, как, проводя аналогию с дираковской квантовой теорией излучения (фотоны ведь рождаются и уничтожаются!), он выбрал векторный вариант β-распада.

Я все еще помню его слова: когда возбужденный атом натрия испускает линию 589 нм, фотон не «сидел» в атоме (он рождался); точно так же, когда нейтрон переходит в протон, рождаются электрон и нейтрино.

К такому же выводу о рождении электронов в бета-распаде пришел Д.Д.Иваненко в работе [9], в которой недвусмысленно впервые в печати было сделано утверждение о том, что нейтрон — элементарная частица, а не связанная система протон—электрон.

По поводу массы нейтрино Перрен [10] также пришел к выводам, аналогичным выводам Ферми. Они выглядят очень современно, в том смысле, что оба — и Перрен и Ферми — поставили вопрос о массе нейтрино (первостепенный вопрос и сегодня) в абсолютно недогматической форме и указали, что масса нейтрино (если она конечна) может быть определена путем измерения спектра β-распада вблизи его конца. Для наиболее благоприятного случая (β-распад ядра трития) начало таким экспериментам с помощью пропорциональных счетчиков было положено в сороковые годы [11]. Значительного улучшения в определении верхнего предела нейтринной массы достиг Берквист [12] с помощью магнитного β-спектрометра и очень тонкой мишени. Результатов измерений подобного рода ныне, в восьмидесятые годы, с большим возбуждением ожидает все мировое сообщество физиков после в высшей степени интересной статьи В.Любимова, Е.Третьякова и др., которые получили экспериментальное указание на конечную величину массы нейтрино [13]. Но вернемся к теории β-распада.

В отличие от электромагнитного взаимодействия (посредством обмена фотоном), Ферми предположил, что происходит контактное взаимодействие двух токов — тока тяжелых частиц (n, p) и тока легких частиц (e, ν):

$$k(\overline{\psi}_p \gamma_\mu \psi_n)(\overline{\psi}_e \gamma_\mu \psi_\nu), \quad n - \begin{cases} \to e^- \\ \to \overline{\nu} \\ \to p \end{cases},$$

где k — константа порядка 10^{-49} эрг · см^3 (сегодня мы все знаем, что $k = G/\sqrt{2}$, где $G = 10^{-5}/M_p^2$ называется постоянной Ферми, $h = c = 1$), $\overline{\psi}_p$, ψ_n — операторы рождения протона и уничтожения нейтрона и т.д. Ферми предположил, что слабые токи, как мы их теперь называем, являются 4-векторами, как в электродинамике. Вначале Ферми полагал, что нуклонный слабый ток $\overline{\psi}_p\gamma_\mu\psi_n$ аналогичен электромагнитному току $\overline{\psi}_p\gamma_\mu\psi_p$, а лептонный слабый ток $\overline{\psi}_e\gamma_\mu\psi_\nu$ —

электромагнитному полю. Однако в его формулировке токи «тяжелой частицы» и «легкой частицы» (как их называл Ферми) совершенно равноправны.

Таким образом, Ферми возвел свое столь совершенное строение лишь на основе нескольких экспериментальных результатов по бета-распаду тяжелых ядер и аналогии с дираковской теорией электромагнитного излучения.

Я хотел бы еще раз подчеркнуть, что наши знания с тех пор возросли в огромной степени; однако все (или почти все) новые факты удивительным образом укладываются в картину, нарисованную Ферми.

Вот основные постфермиевские факты.

1. Нейтрино испускаются не только в бета-распаде. Имеются и другие многочисленные процессы, в которых участвуют нейтрино: распады мюона и пиона, лептонные распады странных частиц и шармированных частиц, процессы, обратные предыдущим, вызванные пучками нейтрино, распады тауона, упругое рассеяние нейтрино электронами и нуклонами, глубоконеупругое рассеяние нейтрино нуклонами. Даже малая доля перечисленного наводит на мысль, что взаимодействие Ферми, ответственное за бета-распад, является специальным случаем более общего 4-фермионного взаимодействия. (Отдельная глава настоящей статьи как раз и посвящается возникновению понятия слабого процесса и первому изучению распада мюона и поглощения мюона нуклоном.) Далее было найдено, что имеются слабые процессы, в которых нейтрино не участвуют: нелептонные распады странных частиц и др. частиц, слабые силы между нуклонами и т.д.

2. Существуют по крайней мере три типа лептонов e, μ и τ и соответствующих им нейтрино — ν_e, ν_μ и ν_τ, два типа из которых наблюдались в свободном виде при изучении их соударений с нуклонами ($\tilde{\nu}_e$ от реакторов и ν_e от Солнца и ускорителей, ν_μ, $\tilde{\nu}_\mu$ — от ускорителей). (Радиохимическому методу детектирования ν_e и возникновению физики высоких энергий и посвящены две главы настоящей статьи.)

3. В слабых процессах нет инвариантности ни по отношению к изменению знаков координат P, ни по отношению к изменению знаков всех зарядов C, хотя законы природы (почти) инвариантны по отношению к комбинированной инверсии CP, которая одновременно меняет знаки координат и зарядов. Несохранение четности подразумевает продольную поляризацию частиц. Итак, родилась теория двухкомпонентного (или продольного) нейтрино Ландау, Ли—Янга и Салама, которая суть старая (1929 г.) теория Вейли, теперь заслужившая доверие (благодаря несохранению четности). Хорошая модель нейтрино, согласно этой теории, — продольный (т.е. всегда влево или вправо вращающийся) винт. Гольдхабером экспериментально было доказано, что нейтрино — левые частицы. Антинейтрино — правые частицы. Таким образом, у нас есть только два состояния, а не четыре, как это было бы для настоящего винта (винт левый, винт правый, антивинт левый, антивинт правый).

Важность продольного (безмассового) нейтрино и состоит в том, что оно указывает нам прототип поведения всех других (массивных) фермионов в слабом взаимодействии. Простое мнемоническое правило звучит так: при слабом взаимодействии все фермионы — левые, а все антифермионы — правые. Нейтрино-

подобное поведение фермионов — главное физическое содержание известного универсального слабого взаимодействия *V–A* Фейнмана—Гелл-Манна и Маршака—Сударшана. Как мы видели, слабое взаимодействие по аналогии с электродинамикой описывается в терминах векторных операторов, действующих на волновые функции частиц. При этом имеются две амплитуды: *V* — исходная амплитуда Ферми, которая обладает свойствами пространственного преобразования полярного вектора (т.е. меняет знак при инверсии координат), в то время как другая амплитуда *A* имеет свойства аксиального вектора (не меняет знака при инверсии координат). Именно сосуществование *V* и *A* и означает несохранение четности.

Итак, слабый ток, который в оригинальной работе Ферми был чисто векторным, на самом деле является суммой векторного и аксиально-векторного (последний строится с помощью матрицы $\gamma_\mu\gamma_5$, где $\gamma_5 = i\gamma_0\gamma_1\gamma_2\gamma_3$).

Теперь я хотел бы на короткое время вернуться к Ферми и поставить такой вопрос: что случилось бы, если бы (в 1954 г.) судьба подарила ему еще несколько лет жизни? Думаю, что, вероятнее всего, он изобрел бы двухкомпонентное нейтрино, но я не уверен в этом. Однако я совершенно уверен в том, что Ферми сделал бы следующий шаг вперед, создав теорию *V–A*. Он не только начал все это дело в 1933 г., но в середине пятидесятых годов он, будучи одновременно теоретиком и экспериментатором, лучше и быстрее других мог бы осознать, что те опыты, результаты которых были несовместимы с формулировкой универсальной теории, являлись ошибочными.

4. Адроны смешаны, т.е. в слабом взаимодействии участвуют когерентно смешанные адроны. Используя кварковые обозначения, можно записать в следующем виде адронный заряженный ток: $\bar{u}\,(d\cos\theta + s\sin\theta) + \bar{c}\,(-d\sin\theta + s\cos\theta) + \ldots$, где θ — угол Кабиббо (~15°), $\bar{u}$ — оператор рождения *u*-кварка, *d* — оператор уничтожения *d*-кварка и т.д.

Итак, лагранжиан слабого взаимодействия

$$L_W = \frac{G}{\sqrt{2}} J_W J_W^+,$$

где

$$J_W = \bar{e}\nu_e + \bar{\mu}\nu_\mu + \bar{\tau}\nu_\tau + \ldots + \bar{u}(d\cos\theta + s\sin\theta) + \bar{c}(-d\sin\theta + s\cos\theta) + \ldots,$$

$$J_W^+ = \bar{\nu}_e e + \bar{\nu}_\mu\mu + \bar{\nu}_\tau\tau + \ldots + (\bar{d}\cos\theta + \bar{s}\sin\theta)u + (-\bar{d}\sin\theta + \bar{s}\cos\theta)c + \ldots$$

и каждый член — сумма *V*- и *A*-типа $\bar{e}\gamma_\mu(1+\gamma_5)\nu_e$ и т.д. Еще раз, этот лагранжиан — обобщение фермиевского (с незначительными, но очень существенными дополнениями), в котором учитываются «постфермиевские» экспериментальные данные. Он прекрасно объясняет все данные, относящиеся к *заряженному току*, чему бета-распад a la Ферми был первым примером. Довольно вероятно, что не только кварки, но и лептоны смешаны, с важными последствиями, относящимися к вопросам о возможности существования явления осцилляций нейтрино, процесса безнейтринного двойного бета-распада и о характере

(дираковском или майорановском) массы нейтрино. Две отдельные главы настоящей статьи и посвящаются этим моментам.

Здесь следует подчеркнуть, что теория продольного нейтрино с массой, тождественно равной нулю, прекрасно описывает все известные экспериментальные данные, кроме результата уже упомянутого опыта, выполненного Любимовым и др. [13] в ИТЭФ. Нейтрино с массой меньше 50 эВ вполне допускают все без исключения опыты. При этом отличные от нуля маленькие массы нейтрино находятся в рамках современных теоретических представлений (речь идет о «великом объединении» электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий).

5. Теперь я должен был бы упомянуть о самом важном постфермиевском открытии — открытии нейтральных токов, сделанном в ЦЕРНе и подтвержденном в Фермилаб на нейтринных пучках высоких энергий. Мне хотелось бы сказать, что нейтральные токи обсуждались давным-давно, еще до того, когда была предложена теория электрослабых взаимодействий Вайнберга—Глэшоу—Салама. Но открытие нейтральных токов было, главным образом, стимулированием этой теории. Я не буду сейчас углубляться в детали: для читателя будет интереснее прочесть нобелевские доклады Вайнберга, Глэшоу и Салама.

Феноменологические же нейтральные токи симметричного типа $\bar{e}e$, $\bar{\nu}\nu$, $\bar{u}u$ обсуждались, например, Блудманом [14]. Рассмотрение симметричных нейтральных токов было естественным. Из-за подавляющего фона электромагнитных процессов никто не мог доказать, что такие токи присутствуют (за исключением как раз случая, когда рассматриваются безмюонные события под действием нейтрино — тот случай, который и привел к открытию нейтральных токов). Я обсуждал даже некоторые астрофизические следствия таких токов в 1962 г. Конечно, было ясно, что нет асимметричных недиагональных нейтральных токов (нет процессов типа $K^+ \to \pi^+ + \nu + \tilde{\nu}$, $K^+ \to \pi^+ + e^+ + e^-$). Я просто думал, что асимметричные нейтральные токи некрасивы, а симметричные — красивы. *GIM* еще не был изобретен.

Я хотел бы закончить двумя замечаниями.

а) Самый первый опыт с нейтрино высоких энергий был выполнен в Дубне с целью зарегистрировать как раз (симметричные) нейтральные токи, правда, на уровне в 10^4 больше, чем ожидаемый от заряженных токов [15]. Это все, что мы могли сделать на ускорителе малой интенсивности, который был в нашем распоряжении. А надежда была на аномальное взаимодействие ν_μ с нуклонами [16].

б) Нейтральные токи искали (они не были найдены!) в течение многих лет, например, в ЦЕРНе, конечно, до того, пока «стратегия» Глэшоу, Салама и Вайнберга не стала популярной.

5. Майорана

В 1937 г. Майорана поставил очень важную проблему в нейтринной физике и вообще в физике элементарных частиц: проблему об истинной нейтральности электрически нейтральных фермионов. Речь идет о майорановском нейтрино (и нейтроне!).

Я чувствую, что тут уместны несколько слов о третьем гиганте — Этторе Майоране, личность которого может вызвать огромный интерес не только у физиков, но и у писателей.

Когда в 1931 г. студентом третьего курса я пришел в Физический институт Королевского университета в Риме, Майорана, которому в то время было 25 лет, был уже хорошо известен узкому кругу итальянских физиков и зарубежных ученых, которые работали некоторое время в Риме под руководством Ферми. Слава его была, прежде всего, отражением глубокого уважения и восхищения со стороны Ферми. Я точно помню слова Ферми: «Если физический вопрос поставлен, никто в мире не способен ответить на него лучше и быстрее, чем Майорана». Согласно шуточному лексикону, использовавшемуся в римской лаборатории, физики, разыгрывая из себя членов религиозного ордена, дали «непогрешимому» Ферми прозвище Папы, а «устрашающему» Майоране — Великого Инквизитора. На семинарах он обычно молчал, но время от времени — и всегда к месту — вставлял саркастические и парадоксальные замечания. Майорана был постоянно недоволен собой (и не только собой!). Он был пессимистом, но с очень острым чувством юмора. Трудно представить себе людей со столь различными характерами, как Ферми и Майорана. В то время как Ферми был очень простым человеком (с небольшой оговоркой: он был гением!) и считал обычный здравый смысл весьма ценным человеческим качеством (которым он, безусловно, был наделен в высшей степени), Майорана руководствовался в жизни очень сложными и абсолютно нетривиальными правилами. Начиная с 1934 г. он все реже стал встречаться с другими физиками и посещать лабораторию. В 1938 г. он исчез в буквальном смысле этого слова. Вероятно, он покончил с собой, но абсолютной уверенности в этом нет. Он был достаточно богат, и я не могу отделаться от мысли, что его жизнь могла бы окончиться не так трагически, если бы ему приходилось зарабатывать себе на жизнь. Таким образом, научная деятельность Майораны продолжалась менее десяти лет (1928—1937). По этой причине, а также потому, что он не любил публиковать результаты своих исследований, вклад Майораны в науку гораздо меньше, чем он мог бы быть. Например, публикации знаменитой статьи, относящейся к нейтринной физике, способствовал просто счастливый случай. В 1937 г. Майорана решил принять участие в конкурсе на университетскую кафедру. Статью, о которой идет речь [12], он написал просто для того, чтобы повысить свои шансы на получение этой кафедры! Не будь этого случая, она, возможно, никогда бы и не появилась в печати. Теперь я вернусь к физике.

В конце 50-х и в 60-е годы часто высказывалось мнение, что нейтрино a la Майорана — объект, хотя и красивый и интересный, но в природе не реализующийся. С таким мнением сегодня согласиться, безусловно, нельзя. Наоборот, вопрос, поставленный Майораной, становится все более и более важным, и теперь это, по сути, центральная проблема нейтринной физики.

Статья 1937 г. в «Nuovo Cimento» — последняя оригинальная работа, написанная Майораной. Я хочу рассмотреть только главные физические и качественные аспекты этой статьи, которая опередила свое время примерно на сорок лет, и не буду касаться очень важных формальных ее аспектов. Может быть, самое лучшее — это перевести на русский язык аннотацию, введение и несколько

основных фраз из статьи, которая, насколько мне известно, была написана только по-итальянски.

СИММЕТРИЧНАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОНА И ПОЗИТРОНА*

Аннотация. Показана возможность представления квантовой теории электрона и позитрона в полностью симметричной форме с помощью нового процесса квантования. Это изменяет смысл уравнения Дирака таким образом, что нет больше причин ни говорить о состояниях с отрицательной энергией, ни при описании новых частиц (в особенности нейтральных) предполагать существование «античастиц», соответствующих «дыркам» с отрицательной энергией.

Интерпретация так называемых «состояний с отрицательной энергией», предложенная Дираком (Dirac P.F. // Proc. Cambr. Phil. Soc., 1924, vol.30, p.150, см. также Heisenberg W. // Z. Phys., 1934, Bd.90, S.209), как хорошо известно, приводит к описанию электронов и позитронов, которое по существу симметрично. Такая симметрия целиком обусловлена тем обстоятельством, что указанная теория дает результаты, действительно симметричные до тех пор, пока можно избежать трудностей, связанных со сходимостью. Однако искусственные методы, которые были предложены для того, чтобы придать теории симметричную форму, соответствующую ее содержанию, не совсем удовлетворительны либо потому, что исходная формулировка всегда несимметрична, либо потому, что симметризация вводится позднее, причем методами, которых следовало бы избегать (такими как сокращение бесконечных констант). Поэтому мы попытались пойти новым путем, который более прямо приводит к требуемой цели.

Когда речь идет об электронах и позитронах, мы должны ожидать лишь формального упрощения теории; однако, по нашему мнению, важно (с точки зрения распространения теории на другие случаи), что исчезает само понятие состояний с отрицательной энергией. На самом деле мы увидим, что вполне возможно совершенно естественным образом построить теорию нейтральных частиц без отрицательных состояний.

Из первого параграфа я хотел бы процитировать следующие слова:

...он (т.е. вновь предлагаемый метод квантования. — *Б.П.*) особенно важен для фермиевских полей, в то время как соображения простоты в случае электромагнитного поля позволяют ничего не добавлять к старым методам. В данном случае мы не будем заниматься систематическим изучением логических возможностей, открывающихся с нашей новой точки зрения, а ограничимся описанием процесса квантования, который, насколько можно судить, важен для реальных приложений. Этот метод, по-видимому, является обобщением метода Йордана—Вигнера (Jordan P., Wigner E. // Z. Phyz., 1928, Bd.47, S.63) и дает возможность не только придать симметричную форму электрон-

*Majorana E. // Nuovo Cim., 1937, vol 5, p.171—184.

позитронной теории, но и построить совершенно новую теорию для частиц без электрического заряда (нейтронов и гипотетических нейтрино). Хотя, по-видимому, сегодня и нельзя экспериментально сделать выбор между новой теорией и той, в которой уравнения Дирака просто распространяются на нейтральные частицы, нужно иметь в виду, что новая теория вводит в эту неизученную область меньшее количество гипотетических объектов...

Из второго параграфа:

...Преимущество этого метода (т.е. теории Майораны. — *Б.П.*) по сравнению с традиционной интерпретацией дираковских уравнений, как мы лучше увидим ниже, в том, что больше нет никаких причин предполагать существование антинейтронов или антинейтрино. Последние действительно используются в теории бета-распада с испусканием позитронов (см. Wick G.C. // Rend. Acad. Lincei, 1935, vol.21, p.170), однако такая теория, очевидно, может быть модифицирована таким образом, что испускание позитрона, так же как и электрона, будет всегда сопровождаться испусканием нейтрино...

Специально для молодого читателя, который с самого начала своей деятельности привык слышать не только об электрических, но также и о других типах «зарядов» (барионном, лептонном и т.д.), я хотел бы подчеркнуть, что в 1937 г. было известно только понятие электрического заряда. Именно Майорана первым явно ввел представление об истинно нейтральных фермионах, или частицах Майораны, т.е. фермионах, которые идентичны своим собственным античастицам. Частицы Майораны были названы им «двухкомпонентными» (одна частица с двумя ориентациями спина), в то время как частицы Дирака являются четырехкомпонентными (частица и античастица, каждая с двумя ориентациями спина). Майорана рассматривал «материальные» частицы (с конечной массой покоя). Кроме того, поставив вопрос об электрически нейтральных фермионах, описываемых либо его теорией, либо теорией Дирака, Майорана в неявном виде ввел представление о зарядах, отличных от электрического. Майорановские частицы — это фермионы, которые не имеют ни электрического, ни какого-либо другого заряда. Электрически нейтральные фермионы, которые не являются частицами Майораны, описываются теорией Дирака. Они — не истинно нейтральны и обладают каким-то (не электрическим) зарядом. Заметим, что в явной форме понятия барионного и лептонного зарядов были введены только в 1949 г. [17] и в 1953 г. [18].

Из одной фразы Майораны, которую я цитировал выше, видно, что он определенно имел в виду следующий вопрос: может ли быть установлена с помощью современных (1937!) экспериментов природа фермионов: майорановские они или дираковские? Касаясь этого вопроса, я буду рассматривать прежде всего нейтрино, оставляя в стороне два очень важных обстоятельства, которые Майорана тогда не мог учитывать:

а) продольную поляризацию нейтрино [19], связанную с несохранением четности (1957), и

б) возможность небольшого нарушения закона сохранения (лептонного) заряда и связанную с этим возможность существования нестационарных нейтринных состояний — так называемое явление осцилляций нейтрино [20] (в современной

терминологии: собственные состояния гамильтониана слабых взаимодействий не обязательно должны быть собственными состояниями оператора массы).

Как можно судить по одной из приведенных выше цитат, Майорана, по-видимому, думал об экспериментах, которые, в принципе, могут ответить на следующий вопрос: способны ли нейтральные лептоны, испускаемые, скажем, вместе с отрицательными β-лучами, поглотиться ядром с испусканием снова отрицательных электронов? Я думаю, что он не упоминал явно о такой возможности потому, что в то время детектирование нейтрино — к сожалению — не считалось ни серьезным предложением, ни даже приличным предметом для обсуждения (поскольку ожидаемое сечение до смешного мало!).

Я лично сталкивался с дилеммой нейтрино Майораны или нейтрино Дирака не однажды, и каждый раз это было надолго. Впервые — когда я предложил и разработал хлор-аргоновый метод детектирования нейтрино [4], в другой раз — когда рассмотрел возможность нейтринных осцилляций (об этих эпизодах я буду говорить ниже, в других разделах) и снова в 60-х, 70-х и 80-х годах в связи с теорией осцилляций и двойного бета-распада.

Рака почти немедленно реагировал [21] на статью Майораны и был первым, кто ясно изложил упомянутую выше идею о различном поведении дираковских и майорановских нейтрино при обратном бета-распаде.

Поскольку во время появления статьи Рака урановые реакторы и методы детектирования нейтрино еще не существовали, она не оказала непосредственного влияния на развитие экспериментов со свободными нейтрино. Однако следует упомянуть, что теоретическая интерпретация «негативного» результата в успешном хлор-аргоновом эксперименте Дэвиса на реакторе [22] основывалась на идее, впервые высказанной Рака. На первый взгляд, результат Дэвиса, что антинейтрино из реактора не могут поглощаться с испусканием отрицательных электронов, может интерпретироваться (и это было так) как демонстрация дираковской природы нейтрино, если хотите, как демонстрация существования некоего (не электрического) заряда нейтрино. Однако, как это известно теперь, такая интерпретация преждевременна из-за важных обстоятельств а) и б), которые упомянуты выше. Об этом будет сказано несколько слов в заключении данной главы.

Вернемся к идее Майораны. В 1938 г. появилась статья Фарри [23], которая представляется мне типичной «инкубационной» статьей. Она была стимулирована идеями Майораны и Рака и не содержала очень важных результатов. В этой статье в деталях описан ход рассуждений Рака о возможных ядерных реакциях, индуцируемых и майорановскими, и дираковскими нейтрино. Однако она скорее пессимистична в отношении возможности экспериментального решения дилеммы нейтрино Майораны — нейтрино Дирака и является предвестником следующей, очень умной и важной статьи Фарри [24], где впервые рассматривался безнейтринный двойной β-распад.

В безнейтринном двойном β-распаде нейтральный лептон, испускаемый нейтроном совместно с отрицательным электроном, должен поглотиться другим нейтроном с испусканием второго отрицательного электрона. «Цепочка Рака» здесь присутствует, но идея эксперимента нова и в этом случае очень остроумна. Поиски безнейтринного двойного β-распада сегодня даже более, чем в прошлом,

важны и могут дать ответ на вопрос относительно природы нейтрино (майорановской или дираковской). Безнейтринный двойной β-распад до сих пор еще не наблюдался: для его обнаружения проводились и проводятся сейчас смелые и важные эксперименты. Наблюдение такого распада с определенностью означало бы, что нейтрино, соответствующие стационарным состояниям, имеют майорановскую природу. Отрицательный результат поисков безнейтринного двойного β-распада нелегко однозначно интерпретировать из-за обстоятельств а) и б), упомянутых выше.

Здесь, по-видимому, уместно подчеркнуть, что отрицательные результаты экспериментов с использованием хлор-аргонового метода на реакторах и, в особенности, поисков безнейтринного двойного β-распада уже показали, что спиральность нейтрино (играющая роль лептонного заряда) почти идеальна, если не абсолютно идеальна*. Однако вернемся к Майоране и рассмотрим теперь нейтрон.

Приходится только удивляться, как много, явно или неявно, подразумевается в его знаменитой статье. Я уже подчеркивал, что там можно найти (непосредственно или между строк) электрически нейтральные фермионы совсем без заряда или с каким-либо зарядом (лептонным, барионным и т.п.). Правда, неявно все заряды предполагаются строго сохраняющимися, хотя это и не сформулировано. Теперь мы знаем, что среди бозонов, по-видимому, есть «гибридные» частицы, т.е. бозоны с нестрого сохраняющимся зарядом [25], осциллирующие между двумя различными состояниями, как нейтральные каоны. Если существуют такие электрически нейтральные гибриды среди фермионов [20], то мы вправе ожидать, что они не описываются стационарными состояниями и осциллируют, переходя друг в друга. Такие частицы являются суперпозицией частиц с определенными (различными) массами, которые описываются стационарными состояниями и являются истинно нейтральными (или майорановскими) фермионами.

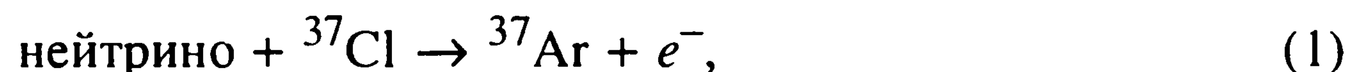
Теперь позвольте мне немножко пошутить — и вы увидите, к чему я клоню: нейтроны и нейтрино Майораны, описанные в статье 1937 г., явились предвестниками свежего ветра теории Великого Объединения — с конечной массой нейтрино, осцилляциями нейтрино и нейтронов, нуклонным распадом и всем прочим!

6. Радиохимические методы регистрации нейтрино и хлор-аргоновый метод

Теперь я хотел бы дать субъективный отчет о нескольких страницах развития нейтринной физики, к которым я был некоторым образом причастен. В 1946 г. нейтрино рассматривались, вообще говоря, как недетектируемые частицы. Многие уважаемые физики придерживались того мнения, что даже сам вопрос о детектировании свободных нейтрино просто бессмыслен (и не только из-за временных трудностей) так же, как, скажем, бессмыслен вопрос, бывает ли в сосуде

*Для ясности я хочу подчеркнуть здесь, что «феноменологические» нейтринные и антинейтринные пучки, сами слова и обозначения ν и $\bar{\nu}$, с которыми каждый экспериментатор привык иметь дело, останутся в физике на долгое время, даже если точка зрения Майораны окажется правильной.

давление меньше чем 10^{-50} атм. Я хорошо помнил об аргументе Бете и Пайерлса [3] и пришел к выводу, что появление мощных ядерных реакторов сделало детектирование свободных нейтрино вполне приличным занятием. Я жил тогда в Канаде и был хорошо знаком с физикой реакторов. Канадский реактор NRX, в создании которого я принимал участие, еще не работал, но мне было ясно, что под очень компактной защитой, значительно ослабляющей мягкую компоненту космических лучей, можно иметь поток нейтрино порядка 10^{12} $см^{-2}\cdot с^{-1}$. В то время сцинтилляторы, которые много лет спустя были так успешно использованы Райнесом и Коуэном [26] для детектирования реакторных антинейтрино, еще не были созданы. Мне пришло в голову, что проблема может быть решена радиохимическими методами, т.е. путем химической концентрации изотопа, образующегося при обратном β-процессе из очень большой массы вещества, облучаемого нейтрино [4]. После внимательного изучения знаменитой таблицы искусственных изотопов Сиборга были найдены несколько возможных кандидатов на мишени, среди которых наиболее подходящими оказались соединения хлора. Соответствующая реакция выглядит следующим образом:



$$\text{нейтрино} + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-, \qquad (1)$$

где ^{37}Ar распадается путем K-захвата с высвобождением 2,8 кэВ энергии в виде рентгеновских лучей и электронов Оже. Я написал здесь «нейтрино», а не $\bar{\nu}_e$, потому что вопрос о том, отличается ли ν от $\bar{\nu}$, был еще не ясен*. Имеется множество практических доводов в пользу ^{37}Cl, я не буду перечислять их здесь. Однако один из них не был мне известен a priori, он был открыт случайно. Для испытаний будущего нейтринного детектора мы обычно в реакторе приготавливали ^{37}Ar и помещали его внутрь детектора, который, согласно нашим намерениям, должен был быть (и был фактически) счетчиком Гейгера—Мюллера. И вот однажды, взглянув на осциллограф, который был подключен к счетчику, мы увидели множество импульсов примерно одинаковой амплитуды от ^{37}Ar, причем напряжение на счетчике было много ниже гейгеровского порога. Таким образом мы обнаружили [27] (независимо от Каррена и др. в Глазго) пропорциональный режим при очень высоком газовом усилении (порядка 10^6). Это было, разумеется, крайне важно с точки зрения детектирования нейтрино, поскольку позволило уменьшить эффективный фон счетчика. В то время бытовало убеждение, что пропорциональные счетчики не могут работать при коэффициентах газового усиления, больших 100. Это, разумеется, справедливо, если

*Вопрос до сих пор не ясен (1982), но уже на другом уровне. Сегодня «феноменологический» ответ гласит, что $\nu \neq \bar{\nu}$ в том смысле, что нейтральный лептон, испускаемый в β-распаде совместно с электроном, имеет спиральность, отличную от спиральности нейтрального лептона, испускаемого совместно с позитроном в β^+-распаде. Однако, как показано в предыдущей главе, такой ответ не решает важнейшей проблемы современной нейтринной физики. имеет ли нейтрино майорановскую массу, иными словами, являются ли частицы, описываемые собственными состояниями масс, частицами Майораны?

начальная ионизация (α-частицы и т.п.) велика, но абсурдно, если она соответствует всего нескольким парам ионов.

В моей статье [4] 1946 г. я уже рассматривал в качестве источников нейтральных лептонов не только мощные реакторы, а также концентрат радиоактивных элементов, извлеченных из реактора, но и Солнце.

Я обсуждал хлор-аргоновый метод (включая возможности, предоставляемые Солнцем) с Ферми в Чикаго (кажется, в 1948 г.) и позднее в 1949 г. на конференции в Базеле и Комо. Ферми совсем не был энтузиастом применения этого метода к нейтрино, но ему очень понравились наши пропорциональные счетчики, с помощью которых мы вместе с Ханна впервые наблюдали L-захват в ^{37}Ar (250 эВ, 10 ионных пар) [28] и измерили спектр трития, по тем временам существенно понизив верхний предел для массы нейтрино [11]. Теперь, оглядываясь назад, я очень хорошо понимаю реакцию Ферми. Кажется, Сегре сказал, что Дон Кихот не был героем Ферми. Он не мог отнестись с симпатией к эксперименту, который хотя и закончился блестяще благодаря героическим усилиям Р.Дэвиса [22], но много, много лет спустя после того, как был задуман.

Теперь я вернусь к вопросу о том, могут ли реакторные антинейтрино вызывать реакцию (1). Как-то в 1947 или 1948 г., проезжая через Цюрих, я завтракал с Прайсверком и Паули. Я рассказал Паули о моих планах с хлор-аргоновым методом. Сама идея ему очень понравилась, и он заметил, что неясно, будут ли «реакторные нейтрино» достаточно эффективно вызывать реакцию (1), но, по его мнению, по-видимому, должны. (Как видите, это точка зрения Майораны.) До 1950 г. я продолжал размышлять над этой проблемой, испытывая пропорциональные счетчики с низким фоном, имея в виду как эту задачу, так и проблему Солнца. Я помню, как Камерини, который в то время работал в Бристоле и был большим специалистом по «звездам», образуемым космическими лучами, помог мне рассчитать космический фон в различных хлор-аргоновых экспериментах, которые я планировал провести. Во всяком случае, как мы знаем теперь, после недавних успешных экспериментов Дэвиса, эффективный фон в моих счетчиках был достаточно низок, чтобы можно было регистрировать солнечные нейтрино по распаду ^{37}Ar. С 1950 г. я прекратил такие эксперименты, так как мне пришлось работать в ускорительной (а не реакторной) лаборатории, а также потому, что в СССР не было достаточно глубоких подземных лабораторий, пригодных для солнечных экспериментов (кстати, скоро этим можно будет заниматься на Баксанской нейтринной обсерватории в Приэльбрусье). Тем не менее все время я продолжал думать о счетчиках (... и о Солнце) и, когда я имел удовольствие встретиться с Р.Дэвисом на первой нейтринной конференции в Москве (1968), высказал мнение, что измерение формы импульса от счетчика, в дополнение к измерению амплитуды, должно привести к значительному уменьшению эффективного фона в таких солнечных экспериментах. Так оно и есть, как я позже узнал от Дэвиса на конференции «Нейтрино-72» в Венгрии.

Раз уж зашла речь об интерпретации экспериментов с солнечными нейтрино, в следующей главе я расскажу о возможном явлении осцилляции нейтрино, которое, если оно существует, будет играть важную роль в физике нейтрино и в нейтринной астрономии.

7. Осцилляции нейтрино и Солнце

В 1957—1958 гг. я впервые рассмотрел осцилляции типа мюоний $\rightleftarrows$ антимюоний и мне стало ясно, что осцилляции в физике частиц могут иметь место не только в случае бозонов ($K^0 \rightleftarrows \overline{K}^0$, $\mu^+e^- \rightleftarrows \mu^-e^+$), но и в случае электрически нейтральных фермионов. При этом хорошим кандидатом, по моему мнению, были бы осцилляции нейтрино [20]. В то время еще не было известно, что, по крайней мере, существует два типа нейтрино. Тогда царила теория продольного (двухкомпонентного) безмассового нейтрино, которая не допускает осцилляций. Однако если имеются отклонения от теории продольного нейтрино, то массы нейтрино конечны и осцилляции могут иметь место. В соответствии с этим мною были рассмотрены осцилляции (максимальной амплитуды) $\nu \rightleftarrows \overline{\nu}_{\text{стер}}$ и соответственно введено понятие стерильности нейтрино. Частицами с определенными массами в этом случае являются две частицы Майораны ν_1, ν_2 с различными массами m_1, m_2, при этом длина осцилляций была выражена через m_1, m_2 и энергию нейтрино $E \gg m_1, m_2$.

К вопросу об осцилляциях нейтрино я возвратился в середине 60-х годов. В то время мне стало совершенно ясно, что возможное явление осцилляций имеет первостепенную важность для постановки опытов по проблеме конечных нейтринных масс и возможного несохранения лептонного заряда, а также для астрофизики. Я не видел принципа, требующего нулевой массы нейтрино, и поэтому малая, но конечная масса нейтрино казалась мне не менее красивой возможностью, чем нулевая масса. Выделено ли нейтрино (нулевая масса!) среди фермионов или нет (конечная масса!) — вот вопрос, который следовало решить экспериментом. В то время над проблемой осцилляций нейтрино я работал в тесном контакте с сотрудниками ИТЭФ И.Кобзаревым и Л.Окунем, которым я хочу выразить здесь мою глубокую благодарность, а также с И.Померанчуком, безвременно ушедшим от нас в 1966 г.

Как раз в 1967 г. меня попросили написать статью для книги, издававшейся в честь 60-летия Дж.Бернардини; уже будучи «энтузиастом» осцилляций нейтрино, я написал статью по осцилляциям [29]. Кстати, в этой статье моя оригинальная идея (1957—1958) об осцилляциях нейтрино обобщалась на случай двух типов нейтрино (осцилляции $\nu_e \rightleftarrows \nu_\mu$). Обобщение это тогда было тривиальным дополнением к моим работам 50-х годов, но в работе 1967 г. впервые рассматривались вопросы, которые до сих пор не потеряли своей актуальности: 1) исключительно высокая чувствительность метода осцилляций для получения сведений о крайне малых значениях нейтринных масс, 2) постановка опытов по осцилляциям нейтрино на реакторах, ускорителях и космических лучах, 3) условия, при которых осцилляции лептонного числа приводят к осцилляциям аромата ($\nu_e \rightleftarrows \nu_\mu$), 4) условная стерильность нейтрино, обусловленная эффектом порога (низкоэнергетические ν_μ) и, наконец, 5) первостепенная важность осцилляций нейтрино для

будущих экспериментов в области нейтринной астрономии Солнца (в присутствии осцилляций половина испускаемых Солнцем нейтрино может превращаться в недетектируемые частицы*).

В 1967 г. мне не было известно, что Накагава, Оконоги, Саката, Тайода уже в 1963 г. ввели лептонное смешивание с произвольным углом [30]. Этим авторам не были также известны мои работы 50-х годов об осцилляциях нейтрино. Работа японских авторов богата новыми идеями** о смешивании адронов и лептонов. В отличие от дубненских работ 50—60-х годов, она, однако, не оказала существенного влияния на развитие физики осцилляций нейтрино и не сопровождалась потоком теоретических и экспериментальных исследований или предложений опытов ни самими авторами, ни другими физиками. В превосходном обзоре П.Фрэмтона и П.Фогеля [32] (1982) можно прочесть следующие слова: «Осцилляции нейтрино между различными ароматами могли бы обсуждаться серьезно только после экспериментального доказательства того, что существует более одного типа нейтрино: появились теоретические работы в Японии Маки, Накагавы и Сакаты (1962) и Понтекорво (1967) в СССР». Я не могу согласиться с этим утверждением, которое простым непризнанием права на существование нейтринных осцилляций лептонного числа сводит на нет мои работы 50-х годов. Что плохого в смешивании полей Майораны?

Правильно то, что для существования осцилляций нейтрино необходимо по крайней мере четыре состояния: этот минимум может осуществляться либо в случае, если имеются два аромата (ν_e и ν_μ), либо в случае только одного аромата (два активных и два стерильных состояния). Первое количественное (если хотите, серьезное) обсуждение осцилляций нейтрино дано в 1968 г. в работе «Нейтринная астрономия и лептонный заряд» [33], когда В.Грибов заинтересовался проблемой. Эта работа оказала решающее влияние на все последующие теоретические и экспериментальные работы в области физики осцилляций нейтрино. Два слова о работе, в которой впервые делался простой и строгий счет числа состояний нейтрино. В ней в общем случае обсуждаются осцилляции в присутствии четырех, и только четырех состояний нейтрино. В нулевом приближении теории [33] имеются два (двухкомпонентных) нейтрино с нулевыми массами (четыре состояния всего). Массовый член, феноменологически учитывающий все возможные реальные и виртуальные переходы, нарушающие сохранение лептонного заряда, состоит из трех слагаемых. Первый из них, в который входит параметр $m_{\bar{e}e}$ (размерности массы), соответствует переходам с нарушением электронного лептонного заряда L_e; второй, в который входит параметр $m_{\bar{\mu}\mu}$, соответствует нарушению мюонного лептонного заряда L_μ; а третий, выраженный через параметр $m_{\bar{\mu}e}$, соответствует переходам, в которых L_e и L_μ не сохраняются, но $L_e + L_\mu$ сохраняется. Оказыва

*Как было отмечено Померанчуком, могут возникнуть и нетривиальные временные вариации интенсивности солнечных нейтрино, связанные с тем, что расстояние от Солнца до Земли меняется с временем, и изменение такого расстояния может быть сравнимо с длиной осцилляций [29]

**Работы [30] Накагавы и др. стали известными Биленькому и мне в 1977 г Мы положительно отзывались об их работе в обзоре по осцилляциям [31]

ется, что частицами с определенными массами m_1 и m_2 являются два нейтрино Майораны ν_1 и ν_2, как уместно говорят сегодня, два нейтрино с майорановскими массами. Итак, введение несохраняющего лептонный заряд взаимодействия эквивалентно ортогональному смешиванию с произвольным углом θ массивных полей нейтрино Майораны.

Пучок нейтрино, скажем ν_e, образовавшийся в результате обычного слабого процесса, описывается не стационарным состоянием, а суперпозицией стационарных состояний. Угол смешивания θ и массы выражаются через параметры теории следующим образом:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2m_{\bar{\mu}e}}{m_{\bar{\mu}\mu} - m_{\bar{e}e}}, \qquad (1)$$

$$m_{1,2} = \frac{1}{2}\left(m_{\bar{e}e} + m_{\bar{\mu}\mu} \pm \sqrt{(m_{\bar{e}e} - m_{\bar{\mu}\mu})^2 + 4m_{\bar{\mu}e}^2}\right) \qquad (2)$$

Если $W_{l'l}(R)$ — вероятность обнаружения $\nu_{l'}$ с импульсом P на расстоянии R от источника ν_l и

$$L = 4\pi \frac{P}{m_1^2 - m_2^2}$$

— длина осцилляций ($p \gg m_1, m_2$), то

$$W_{\nu_e, \nu_e}(R) = 1 - \frac{1}{2}\sin^2 2\theta\left(1 - \cos 2\pi\frac{R}{L}\right), \qquad (3)$$

$$W_{\nu_e, \nu_\mu}(R) = \frac{1}{2}\sin^2 2\theta\left(1 - \cos 2\pi\frac{R}{L}\right). \qquad (4)$$

Осцилляции имеют место, если $\theta \neq 0$ и $m_1 \neq m_2$. При особенных (довольно привлекательных [34]) условиях $m_{\bar{e}e} = m_{\bar{\mu}\mu}$ или $m_{\mu e} \gg m_{\bar{\mu}\mu}, m_{\bar{e}e}$ осцилляции имеют максимальную амплитуду ($\theta = \pi/4$), как и в случае осцилляций K^0-мезонов. Соотношения, аналогичные (1), (2), (3), (4), имеют место и для случая только одного аромата, но только для четырех состояний (два активных, скажем, ν и $\bar{\nu}$, и два стерильных, $\bar{\nu}_{L_{\text{стер}}}$, $\nu_{R_{\text{стер}}}$); по-прежнему собственным состояниям массы соответствуют два нейтрино ν_1 и ν_2 с майорановскими массами: в случае максимальной амплитуды — это осцилляции $\nu \rightleftarrows \bar{\nu}_{L_{\text{стер}}}$, рассмотренные мною в 1958 г.

Я хотел бы здесь сказать два слова о нейтрино от Солнца. Измерение интенсивности нейтрино от Солнца — чрезвычайно чувствительный метод поиска осцилляций нейтрино [35]. Это связано с тем, что энергия солнечных нейтрино мала, а расстояние между Землей и Солнцем огромно. Часто говорят, что для интерпретации так называемой загадки солнечных нейтрино, т.е. нехватки измеренной Дэвисом хлор-аргоновым методом интенсивности нейтрино от Солнца по

сравнению с вычисленной Бакалом на основе стандартной модели Солнца интенсивностью, мною было дано объяснение ad hoc в терминах осцилляций нейтрино. Все произошло немного иначе. В действительности я, поверив в возможную реальность осцилляций нейтрино, предсказал [29], что может появиться нехватка вплоть до множителя 1/2 нейтрино от Солнца в будущих опытах Дэвиса. Мне очень хотелось бы, чтобы «загадка солнечных нейтрино» была реальной, но боюсь сегодня, как и много лет назад, что ожидаемая интенсивность нейтрино от Солнца по объективным причинам недостаточно хорошо известна для уверенного утверждения о нехватке.

Кстати, в 70-х годах я нашел дополнительный механизм [36], усиливающий возможную нехватку регистрируемых солнечных нейтрино. Тогда были известны только два аромата нейтрино, так как τ-лептон еще не был обнаружен. Я рассмотрел возможность существования новых лептонов и показал, что если присутствуют N типов нейтрино, поля которых максимально смешаны, то интенсивность I детектируемых нейтрино от Солнца будет в N раз меньше ожидаемой в отсутствие осцилляций интенсивности I_0. Эта возможность широко обсуждалась в последние годы в связи с «загадкой солнечных нейтрино». Курьезными являются заключительные слова моей оригинальной работы «Тяжелые лептоны и нейтринная астрономия» (Письма в ЖЭТФ, 1971, т.13, с.281): «К счастью, теоретическая схема, которая могла привести к такому печальному ($I = I_0/N_\odot$ — *Б.П.*) для нейтринной наблюдательной астрономии следствию, эстетически непривлекательна, и можно надеяться на то, что она в природе не реализуется». Я думаю так и сегодня.

Количественно вопрос об осцилляциях в присутствии N ароматов нейтрино обсуждался Биленьким и мною [37] для общего случая, когда наряду с осцилляциями аромата имеют место осцилляции лептонного числа (так что совместно с активными состояниями существуют и стерильные). Число массивных нейтрино Майораны в этом случае равно $2N$, а при максимальном смешивании может быть детектирована только доля $1/2N$ всех нейтрино. Мы знаем теперь три аромата нейтрино, так что интенсивность детектируемых солнечных нейтрино может достичь такой маленькой величины, как 1/6 полной интенсивности. Вновь кажется маловероятным, что такая возможность реализуется в природе. В последнее время Биленький и я обсуждали более реалистичный случай [34], когда детектируемое число нейтрино от Солнца равно 1/2 от полного числа нейтрино.

Следующая часть настоящей главы — полемическая по характеру. Она касается вопросов приоритета. Я написал ее для специалистов. Может быть, и не следовало об этом говорить, если бы не было игнорирования или искажения дубненских работ 50-х годов, а также 60-х и 70-х годов некоторыми физиками и авторами популярных статей. Тематика осцилляций нейтрино, точнее, вопрос о приоритете в области осцилляций, вошли в такие известные журналы, как «Physics Today», «Scientific American», «Science News» и др., а это обстоятельство, как я надеюсь, оправдает мою смехотворную тираду!

Итак, летом 1980 г. я находился в Италии, на крупных международных конференциях по физике нейтрино в Эриче и по физике элементарных частиц в Триесте. В некоторых докладах по осцилляциям нейтрино дубненские работы

отдельными авторами фактически игнорировались. Это показалось мне тем более странным, что содержание, формулы, феноменология, а иногда даже жаргон в этих докладах были в большой мере дубненскими. Я даже утешал себя мыслью о том, что наши работы так хорошо известны, что уже не цитируются. Но я ошибся. По возвращении в Дубну я начал читать литературу с весны 1980 г. Из ряда статей, опубликованных в различных серьезных научных и научно-популярных журналах, я узнал, что мои статьи 50-х годов не представляют интереса и, в частности, что мне не принадлежит приоритет в осцилляциях нейтрино. В чем дело? Я понял это позже, когда мне довелось видеть трансперенси, а позже — читать доклад Сандика Пакваза на XX международной конференции по физике высоких энергий 17—23 июля 1980 г. (Мадисон, Висконсин): «моя вина» состоит в том, что в 50-х годах я не рассматривал нейтринных осцилляций аромата.

Я должен сказать здесь несколько слов, поскольку мои работы 50-х годов были представлены в докладе С.Пакваза [38] вводящим в заблуждение способом. Если я не отвечу, могут подумать, что я согласен с ним. Кратко, С.Пакваза утверждает, что я предлагал «настоящие осцилляции» $\nu_{eL} \rightleftarrows \bar{\nu}_{eR}$. Но таких осцилляций нет и не может быть. Я никогда не выражался такими словами. Они полностью принадлежат С.Паквазе. Я хорошо понимаю, что сегодня люди не располагают временем даже для того, чтобы прочесть статьи, которые цитируют. Однако, если уж С.Пакваза хотел обсуждать содержание моей работы, имея в виду вопросы приоритета, то он был бы обязан не делать ни дополнений, ни существенных опущений. Я должен привести некоторые цитаты из моих работ 1957—1958 гг., выполненных, когда был известен только один тип нейтрино, чтобы доказать, что я имею в виду.

«Если теория двухкомпонентного нейтрино оказалась бы несправедливой (что в настоящее время является маловероятным) и если бы не имел места закон сохранения нейтринного заряда (под этим понимается закон сохранения лептонного заряда — *Б.П.*), то, в принципе, переходы нейтрино—антинейтрино в вакууме возможны» (ЖЭТФ, 1957, т.33, с.551).

«Из сделанных предположений следует, что нейтрино в вакууме может переходить в антинейтрино, и наоборот. Это означает, что нейтрино и антинейтрино являются «смешанными» частицами, т.е. симметричной и антисимметричной комбинацией двух истинно нейтральных частиц Майораны ν_1 и ν_2, имеющих разную комбинированную четность» (ЖЭТФ, 1958, т.34, с.248).

«Таким образом, если R (длина осцилляций — *Б.П.*) ≤ 1 м в опыте Коуэна и Райнеса, сечение для образования нейтронов и позитронов при поглощении водородом нейтральных частиц от реактора должно быть меньше сечения, ожидаемого на основании простых термодинамических соображений. Это связано с тем, что поток нейтральных лептонов, который при рождении способен с известной вероятностью вызвать реакцию, изменяет свой состав по пути от реактора до детектора. Крайне интересно было бы поставить опыт на разных расстояниях от реактора. С другой стороны, трудно предсказать влияние реальных переходов антинейтрино—нейтрино на опыт Дэвиса, так как здесь речь не идет о строго обратном бета-процессе и существенными могут оказаться такие неизвестные факторы, как

поляризация и энергетическая зависимость поляризации нейтральных лептонов от реактора и от перехода ^{37}Ar–^{37}Cl» (ЖЭТФ, 1958, т.34, с.248).

«Эффекты превращений нейтрино в антинейтрино могут быть ненаблюдаемы в лаборатории из-за большой величины R, но будут иметь место в астрономических масштабах» (ЖЭТФ, 1958, т.34, с.149).

Может быть, С.Паквазa не понял сути моих статей. Но тогда каким образом он мог стать соавтором статьи В.Баргера, Р.Ландаскера, Г.Лейвимса, С.Паквазы, опубликованной в Phys. Rev. Lett., 1980, т.45, с.692? И действительно, главное содержание этой статьи — введение стерильности нейтрино, сделанное мною уже в 1958 г., и количественное описание осцилляций нейтрино в общем случае N активных и N стерильных нейтрино, уже данное в дубненских работах [37] 1976 г. (совместно с упоминавшимися выше применениями к Солнцу). Кстати, эти осцилляции в 1980 г. были почему-то окрещены С.Паквазой и сотр. «осцилляциями второго рода». Самым вероятным мне кажется, что из-за своего предвзятого мнения С.Паквазa в 1980 г. не хотел или не мог поверить в то, что в 1958 г. я придумал стерильные нейтрино и совершенно «законные» осцилляции нейтрино.

В заключение я хотел отметить, что сегодня вопрос об осцилляциях нейтрино стоит очень остро и во всем мире выполняются и готовятся эксперименты по поискам этого явления. Теоретически конечные массы нейтрино и осцилляции нейтрино приветствовали бы адепты Великого Объединения слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий, т.е. большинство физиков. С экспериментальной точки зрения сегодня нет никаких окончательных указаний на наличие осцилляций. Будущее поколение опытов с нейтрино от Солнца — это самая обещающая перспектива.

В Дубне мы по-настоящему поверили в важность осцилляций, в частности, докладывали систематически на крупных международных конференциях [39] об осцилляциях, даже когда эта тематика еще не была модной. Мы не меняли нашего мнения.

8. Понятие слабого взаимодействия и «древнее» изучение свойств мюонов

Многие физики не знают, что после открытия радиоактивности понадобилось около 50 лет, чтобы зародилось и получило всеобщее признание понятие слабых взаимодействий. О коротком этапе этого периода, который связан с развитием наших знаний о свойствах мюонов и который начался со знаменитого эксперимента Конверси, Панчини и Пиччиони [40], и будет рассказано ниже.

Я работал в Канаде, когда впервые услышал об этом эксперименте. До 1947 г. физика космических лучей была для меня очень далекой областью. Некоторые сведения о ней я получил от моих друзей: во Флоренции — от Бернардини и Оккиалини, в Париже — от П.Эренфеста-младшего (многообещающего экспериментатора, который работал в группе Оже, занимавшейся космическими лучами, и безвременно погиб в горах) и в Монреале — от Разетти (одного из моих учителей, который в Квебеке впервые непосредственно измерил время жизни «мезотро-

на») и Оже (который провел такие же измерения совместно с Мазе и под руководством которого я работал в Канаде во время войны).

Итак, как только я прочел статью Конверси и др. и узнал о соображениях Ферми и др. по этому вопросу [41], я был буквально пленен частицей, которую мы теперь называем мюоном. Это была действительно интригующая частица: «заказанная» Юкавой и открытая Андерсоном, она, как обнаружили Конверси и др., в действительности не имела ничего общего с частицей Юкавы! Я почувствовал себя подхваченным антидогматическим ветром и начал задавать массу вопросов типа:

— Почему спин мюона должен быть целым?

— Кто сказал, что мюон должен распадаться на электрон и нейтрино, а не на электрон и два нейтрино или электрон и фотон?

— Является ли заряженная частица, вылетающая при распаде мюона, электроном?

— Испускаются ли при распаде мюона другие частицы, кроме электрона и нейтрино?

— В какой форме высвобождается энергия при захвате мюона ядром?

На вопрос, связанный с захватом мюона, я ответил почти сразу [42] и, как выяснилось, правильно, отметив, что скорости ядерного захвата электрона и мюона очень близки (если принять во внимание разницу объемов, занимаемых электронной и мюонной орбитами). Ответы были таковы:

1) захват мюона должен быть процессом, практически идентичным β-процессу, и описываться реакцией* $\mu^- + p \rightarrow$ нейтрино $+ n$;

2) большая часть энергии, высвобождаемой в мюонном захвате, «невидима», поскольку она уносится в виде нейтрино — предположение, которое было подтверждено экспериментом и согласуется с первым ответом;

3) спин мюона должен быть равен 1/2.

Очень трудным моментом для меня было объяснение обильного рождения мюонов космическими лучами. Я был уверен, что мюон — это фермион. Фермион не может рождаться в одиночку. Предположение об обильном рождении мюон-нейтринных пар противоречило моему основному заключению, что мюон-нейтринная связь с ядром слаба. Мне пришлось обратиться к теории Маршака о ядерных силах, возникающих за счет обмена парами заряженных лептонов. На самом деле эту теорию я не понимал и не достиг цели — не выявил истинный источник мюонов. Таким источником должен был быть объект, «беременный» мюоном, как образно и точно выразился Вайскопф [43], по какой-то причине также не достигший цели. Им является, конечно, пион. Правильный ответ был дан вскоре Маршаком и Бете [44] в их замечательной статье «О гипотезе двух мезонов», опубликованной примерно в то время, когда произошло эпохальное открытие пиона и π–μ-распада (Латтес, Оккиалини и Пауэлл) [45].

*Потребовалось 15 лет для того, чтобы реакции $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$ и $\mu^- + {}^3He \rightarrow {}^3H + \nu_\mu$ определенно наблюдались соответственно в опытах Р.Хильдебранда и в наших экспериментах совместно с Р Суляевым и др.

То, что процессы ядерного захвата мюона и электрона очень похожи, т.е. что оба они являются «слабыми процессами», мне, а затем и нескольким другим физикам [46] было абсолютно ясно в то время. Такая электрон-мюонная симметрия была первым намеком на универсальное слабое взаимодействие (но как далеко было до найденного в 1958 г. вида такого взаимодействия, т.е. до *V–A*-теории Маршака—Сударшана и Фейнмана—Гелл-Манна [47], дополненной углом смешивания Кабиббо!).

Что же касается вопросов, связанных с распадом мюонов, на них можно было получить ответ только с помощью соответствующих экспериментов. Я стал активно интересоваться физикой космических лучей, быстро прочел и усвоил выпущенную Гейзенбергом очень хорошую краткую брошюру по космическим лучам [48], нечто вроде путеводителя для начинающих. С Тэдом Хинксом, замечательным физиком, наделенным острым чувством юмора, мы начали совместные эксперименты. Это было очень дружеское, незабываемое и плодотворное сотрудничество. В короткий срок мы создали установку, достаточно сложную для того времени. Были использованы методы мгновенных и запаздывающих совпадений, и, разумеется, детекторами служили счетчики Гейгера. Мы работали в реакторной лаборатории и поэтому испытывали некоторое чувство вины, занимаясь космическими лучами. Правда, наш глава В.Саржент (физик, который открыл правило, связывающее вероятность β-распада с энергией вылетающих электронов) благожелательно относился к нашей деятельности. И все же я не могу забыть, как неохотно мы с Тэдом тратили лабораторные средства и как были счастливы, когда Тэд изобрел «пороговый усилитель», который сэкономил много счетчиков, позволив существенно увеличить эффективность детектирования фотонов, испускаемых одновременно с электронами при гипотетическом $\mu \to e\gamma$-распаде! А между тем суммы, потраченные на все наши исследования космических мюонов в Канаде, были бесконечно малы в сравнении с тем, что тратится сегодня на типичный эксперимент в области физики высоких энергий в течение всего нескольких часов.

Мы нашли: 1) что распад $\mu \to e\gamma$ не происходит (мы искали запаздывающие электрон-фотонные совпадения) [49]; 2) что при распаде мюона испускаются три частицы, e, ν, ν' (мы измеряли спектр электронов методом поглощения) [50]; 3) что заряженная частица, испускаемая в распаде мюона, действительно является электроном (мы измеряли интенсивность его тормозного излучения) [50]. Первые два результата были получены независимо от нас также другими группами авторов [51,52]. Третий результат был получен только нашей группой. Именно он потребовал от нас максимума усилий и изобретательности, а с нынешних позиций он может показаться наименее значительным: чем же иным, как не электроном, может быть заряженная частица в распаде мюона? Однако следует учитывать сильный «антидогматизм», свойственный тому времени. Атмосферу сомнений, в которой мы жили, можно почувствовать по названию одной из наших статей: «О стабильности нейтрального мезона». В этой работе [53] мы показали, что нейтральный мезон, существование которого тогда считалось возможным, либо вовсе не испускается при распаде мюона, либо время его жизни при распаде на два фотона не меньше 10^{-10} с.

В заключение этих далеко не полных и субъективных воспоминаний о некоторых ранних мюонных исследованиях я должен упомянуть о теоретической ра-

боте, которая была и до сих пор остается очень важной: введении Мишелем параметра ρ для распада мюонов [54], или, в более общем смысле, описании Мишелем процессов, в которых участвуют два реальных нейтральных лептона.

После появления первых ускорителей на релятивистские энергии пионы и мюоны начали получать искусственно. В 50-е годы их свойства стали исследовать в условиях, несравненно более благоприятных, чем прежние, но я не собираюсь рассказывать эту историю, вершиной которой было эпохальное (теоретическое [19] и экспериментальное [55]) открытие спиральности нейтрино.

9. Физика нейтрино высоких энергий

Мой рассказ здесь снова будет очень личным. Конечно, история выглядела бы совершенно иначе, если бы ее рассказывали М.А.Марков или М.Шварц. Я собираюсь рассказать о том, как я пришел к предложению проводить эксперименты с нейтрино высоких энергий, получаемых на мезонных фабриках и ускорителях очень высоких энергий.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1958 г. проектировался протонный релятивистский циклотрон с энергией пучка 800 МэВ и током 500 мкА. В конечном счете он не был построен. Но с начала 1959 г. я начал думать об экспериментальной программе для этого ускорителя. Прежде всего мне пришло в голову, что нейтринные опыты на ускорителе вполне осуществимы и что жизнеспособную и относительно дешевую нейтринную программу можно выполнить, «высаживая» протонный пучок в большом железном блоке, который служил бы одновременно и источником нейтрино, и защитой. Я сказал бы, что идеология нейтринных экспериментов на ускорителе LAMPF, которые недавно начались, очень похожа на программу, предложенную мной 20 лет назад для ускорителя, который так и не был построен.

Об одном из экспериментов, который предназначался для выяснения вопроса, различны ли ν_e и ν_μ, я хотел бы сказать несколько слов.

Я должен вернуться далеко назад, в 1947—1950 гг. Несколько групп, среди них Дж.Штейнбергер, Э.Хинкс и я, проводили исследования распада мюона в космических лучах. В результате было обнаружено, что распадающийся мюон испускает три частицы: один электрон (это мы установили по измерению тормозного излучения электрона) и две нейтральные частицы, которые разные люди называли по-разному: два нейтрино, нейтрино и нейтретто, ν и ν' и т.п. Я снова говорю об этом, подчеркивая, что для людей, работавших с мюонами в прежние времена, вопрос о разных типах нейтрино существовал всегда. Правда, позже многие теоретики забыли об этом и некоторые из них вновь изобрели два нейтрино, но такие люди, как Бернардини, Штейнбергер, Хинкс и я, никогда не забывали о проблеме двух нейтрино. Конечно, постановка вопроса становилась для меня все более точной: появилась идея о возможных партнерах, в том смысле, что ν_e всегда выступает партнером электрона, а ν_μ — мюона. Я достаточно ясно сформулировал, как осуществить решающий эксперимент, используя пучки мю-

онных нейтрино [56]. Предполагалось искать мюоны и электроны, рождаемые в веществе мюонными нейтрино; если $\nu_e \neq \nu_\mu$, то рождающихся электронов должно быть много меньше, чем мюонов.

В 1959 г. была очень важна другая проблема: является ли четырехфермионное взаимодействие контактным или оно обусловлено обменом промежуточным бозоном? Этот вопрос стоит еще и сегодня, но теперь у нас есть теория Глэшоу, Салама и Вайнберга, которая предсказывает, что массы промежуточных бозонов составляют около 100 ГэВ.

В 1959 г. только некоторые ученые, среди которых Я.Б.Зельдович и Ж.Лейте Лопес, думали, что промежуточный бозон имеет массу около 100 ГэВ, а обычно считалось (без серьезных на то оснований), что его масса — несколько ГэВ.

Очевидно, что промежуточный бозон не мог рождаться на мезонных фабриках, и в 1959 г. на международной конференции в Киеве Рындин и я предложили вторую идею опыта: искать бозон, используя нейтринные пучки, получаемые на ускорителях очень высоких энергий [57]. Теоретически это предложение основывалось на том, что при достаточно больших энергиях в сечении рождения промежуточного бозона с помощью нейтрино должно появляться G вместо G^2. Как известно, вопрос о промежуточных бозонах, по-видимому, будет решен не в нейтринных экспериментах, а во встречных $\bar{p}p$-пучках. Проблема же двух типов нейтрино была разрешена в Брукхейвене в блестящих экспериментах Ледермана, Шварца, Штейнбергера и др. (1962).

10. Прямые нейтрино и опыты «бим-дамп»

Метод «бим-дамповых» опытов состоит в том, что регистрируются «прямые» (т.е. не от распада каонов и пионов) нейтрино от лептонных распадов короткоживущих частиц, скажем, от шармированных частиц [58]. В «бим-дамповых» опытах, которые были выполнены в Серпухове и в ЦЕРНе (четырьмя группами), впервые было наблюдено и исследовано образование шармированных частиц в нуклон-нуклонных соударениях. Это чудо, осознать которое вам поможет аналогия с другими гипотетическими случаями: когда Резерфорд впервые наблюдал β-распад ядер, представьте себе, что он не зарегистрировал электроны, но наблюдал нейтрино из источника интенсивностью $\gg 10^9$ кюри! Или представьте себе, что Латтес, Оккиалини и Пауэлл впервые наблюдали распад пиона после того, как они спроектировали и создали современную установку для нейтрино высоких энергий (протонный ускоритель, туннель распада, железная защита и многотонный нейтринный детектор) вместо того, чтобы просто наблюдать мюоны от распада пиона!

11. Альтернативный сценарий развития нейтринной физики?

Теперь я хотел бы представить вам сценарий развития физики слабых взаимодействий, который не реализовался, но который, как я думаю, мог бы реализоваться. Такой сценарий, может быть, будет трепать нервы тех читателей, которые

работают в области нейтринной физики очень высоких энергий. Кстати, я играю роль адвоката дьявола, поскольку сам очень люблю нейтринную физику высоких энергий.

Я знаю великого ученого, Петра Леонидовича Капицу, который сейчас думает, что, если опыт слишком дорог и громоздок, его не нужно делать: с течением времени проблема будет решена проще. Предположим, что в начале 60-х годов обществу физиков представилось бы, что нейтринные опыты при очень высоких энергиях слишком дороги и громоздки. Далее предположим, что это общество имело бы следующее мнение: физика нейтрино относительно дешевым образом может развиваться на «мезонных фабриках», которых создается все больше и больше, а также на ядерных реакторах. При этом допустим, что «всемирное министерство науки» в 60-х годах решило бы не отпускать средств на физику нейтрино высоких энергий, одновременно содействуя развитию физики нейтрино низких и средних энергий. Не надо большой фантазии, чтобы ответить на вопрос о том, какие успехи последовали бы за этим. Для сравнения рассмотрим путь, указанный существенными результатами физики нейтрино очень высоких энергий.

1. $\nu_e \neq \nu_\mu$: этот результат был бы получен на «мезонной фабрике», правда, по крайней мере на 10 лет позже. Кстати, ν_τ был обнаружен в опытах на встречных электрон-позитронных пучках.

2. Структура нуклона: без опытов с нейтринными пучками очень высоких энергий наши знания были бы неполными. При этом, однако, не надо забывать об очень важной информации, полученной при изучении глубоконеупругого рассеяния электронов (и мюонов) на нуклонах.

3. Нейтральные токи: они обсуждались рядом физиков с феноменологической точки зрения еще до теории электрослабого взаимодействия. Эта теория, без сомнения, была создана независимо от опытов с нейтрино высоких энергий. Сохранение четности в атомах, предсказанное Зельдовичем [59], наблюдалось в Новосибирске [60] в согласии с теоретическими ожиданиями Глэшоу—Салама—Вайнберга. Это трудный и красивый опыт, но дешевый. Красивый опыт [61], выполненный в СЛАКе, по рассеянию поляризованных электронов на нуклонах, дал точную величину $\sin^2\theta_W$. На реакторах и мезонных фабриках в настоящее время нейтринные опыты по нейтральным токам выполняются и планируются. Конечно, если бы в ЦЕРНе не были выполнены опыты с нейтрино высоких энергий по нейтральным токам, отсутствовали бы точные значения $\sin^2\theta_W$, что было бы серьезной потерей.

4. Без нейтринных опытов при очень высоких энергиях не было бы исследовано образование странных и шармированных частиц нейтрино. Однако большинство наших знаний по физике, связанной с лептонными распадами странных и шармированных частиц, мы получили путем исследований на адронных пучках и на электрон-позитронных встречных пучках.

Итак, я подвожу итог: то, что действительно случилось в физике нейтрино очень высоких энергий, — недешево, но очень ценно. Затрата средств оправдана, но не надо ни недооценивать важность физики нейтрино высоких энергий, ни переоценивать ее. Это не пессимизм, а призыв избегать рутины.

12. Заключение

В отличие от того времени, когда физика нейтрино высоких энергий только родилась, 20 лет назад, в настоящее время это здоровая и крупная область физики, в которой количественный аспект доминирует. Тот факт, что нейтрино трудно зарегистрировать (в отличие от других долгоживущих частиц), приводит к тому, что исследования в физике нейтрино высоких энергий необычайно сложные и дорогие. Поэтому программу исследований на пучках нейтрино очень высоких энергий следует составлять очень тщательно.

Необходимы не только новые идеи в постановке опытов, но также новые идеи в создании пучков (меченые нейтрино?...) и детекторов (гигантские жидкостные детекторы?...).

Не случайно, что три из самых перспективных экспериментов в физике нейтрино, результаты которых ожидают с нетерпением во всем мире, находятся вне области физики высоких энергий:

1. Точное измерение бета-спектра трития.
2. Поиски безнейтринного двойного бета-распада.
3. Поиски осцилляций солнечных нейтрино.

Существование конечных нейтринных масс было бы не только важным для физики элементарных частиц, но также породило бы революцию в космологии, астрофизике и нейтринной астрономии Солнца.

Ниже перечисляются некоторые из главных проблем сегодняшней нейтринной физики. Эти вопросы, разумеется, связаны друг с другом.

1. Конечны ли массы нейтрино?
2. Все ли нейтральные лептоны много легче электронов?
3. Если массы нейтрино конечны, то все ли они имеют майорановские массы (в этом случае отсутствуют лептонные заряды) или все имеют дираковские массы? Может быть, некоторые нейтрино имеют майорановские массы, а другие — дираковские?
4. Сколько имеется различных типов нейтрино?

Эти вопросы стоят уже долгое время. Однако не похоже, что определенные ответы на все вопросы будут получены в ближайшем будущем.

Мне приятно поблагодарить Э.Белотти, К.Берквист, С.Биленького, С.Бунятова, А.Вовенко, А.Гринберга, Г.Домогацкого, Л.Окуня, С.Петкова, А.Салама, Б.Явелева, С.Ярлског за полезные замечания.

Объединенный институт
ядерных исследований

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная конференция по нейтринной физике и астрофизике «ν'80». Эриче, июнь 1980 г.
2. Международный коллоквиум по истории физики элементарных частиц. Париж, июль 1983 г.

3. *Bethe H., Peierls R.* // Nature, 1934, vol.133, p.532.
4. *Pontecorvo B.* // Nat. Res. Council Canada, 1946, Report PD 205.
5. *Leipunsky A.* // Proc. Cambr. Phys. Soc., 1936, vol.32, p.301.
6. *Паули В.* Письмо от декабря 1930 г. физикам, собравшимся на встречу в Тюбингене. Среди них были Г.Гейгер и Л.Мейтнер. Содержание письма обсуждалось с 1930 г. Прочитать письмо можно, например, в статье: *Brown L.* // Phys. Today, 1978, vol.31, No.9, p.23.
7. *Pauli W.* // Septieme Conseil de Physique Solvay, 1933. P.: Ganthier-Villars, 1934, p.324.
8. *Fermi E.* // Ric. Scient., 1933, No.12, p.2; Z. Phys., 1934, Bd.88, S.161.
9. *Iwanenko D.* // C.R. Ac. Sci., 1932, t.195, p.439.
10. *Perrin F.* // Ibid., 1933, t.197, p.1625.
11. *Hanna G., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.983;
Curran S. et al. // Phil. Mag., 1949, vol.40, p.53.
12. *Bergkvist K.* // Nucl. Phys. B, 1972, vol.39, p.317.
13. *Lubimov V., Novikov E. et al.* // Phys. Lett. B, 1980, vol.94, p.266;
Косик В.С., Любимов В.А. и др. // ЯФ, 1980, т.32, с.301. — В начале 1983 г. стало известно, что эта группа достигла выдающихся методических успехов (улучшение энергетического разрешения в два раза и большое уменьшение фона). По-видимому, в недалеком будущем вопрос о конечной массе нейтрино будет решен.
14. *Bludman S.* // Nuovo Cim., 1958, vol.9, p.433.
15. *Vasilevsky I. et al.* // Phys. Lett., 1962, vol.1, p.345.
16. *Кобзарев И.Ю., Окунь Л.Б.* // ЖЭТФ, 1961, т.41, с.1205.
17. *Wigner E.* // Proc. Am. Phil. Soc., 1949, vol.93, p.521;
См. также: *Stückelberg E.* // Helv. Phys. Acta, 1939, vol.11, p.225;
Weyl H. // Z. Phys., 1929, Bd.56, S.330.
18. *Marx G.* // Acta Phys. Hung., 1953, vol.3, p.56;
Зельдович Я.Б. // ДАН, 1952, т.86, с.505;
Konopinsky E., Mahmoud H. // Phys. Rev., 1953, vol.92, p.1045.
19. *Landau L.* // Nucl. Phys., 1957, vol.3, p.127;
Lee T., Yang C. // Phys. Rev., 1957, vol.105, p.1671;
Salam A. // Nuovo Cim., 1957, vol.5, p.299.
20. *Понтекорво Б.М.* // ЖЭТФ, 1957, т.33, с.549; 1958, т.34, с.247.
21. *Racah G.* // Nuovo Cim., 1937, vol.14, p.322.
22. *Davis R.* // Phys. Rev., 1955, vol.97, p.766.
23 *Furry W.* // Ibid., 1938, vol.54, p.56.
24. *Furry W.* // Ibid, 1939, vol.56, p.1184. — Безнейтринный двойной бета-распад. Двойной бета-распад с испусканием двух нейтральных лептонов впервые рассматривался: *Goeppert-Mayer M.* // Phys. Rev., 1935, vol.48, p.512. Ранее подробные теоретические исследования безнейтринного двойного бета-распада представлены *Зельдовичем Я.Б. и др.* // УФН, 1954, с.121, где можно найти и предыдущие ссылки на экспериментальные работы. Для современного состояния см.: *Bellotti E.* // Proc. of the Int. Conf. of «Neutrino'82». Balatonfüred, Hungary, Budapest, 1982, vol.1, p.216.
25. *Gell-Mann M., Pais A.* // Phys. Rev., 1955, vol.97, p.1387.
26. *Cowan C., Reines F., Harrison F., Kruse H., McGuire A.* // Science, 1956, vol.124, p.103.
27. *Kirkwood D., Pontecorvo B., Hanna G.* // Phys. Rev., 1958, vol.74, p.497;
Hanna G., Kirkwood D., Pontecorvo B. // Ibid., 1949, vol.75, p.985;
Pontecorvo B. // Helv. Phys. Acta (см. [2]).
28. *Pontecorvo B., Kirkwood D., Hanna G.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.982.

29. *Понтекорво Б.М.* // ЖЭТФ, 1967, т.53, с.1717; также в книге: Old and New Problems in Elementary Particles: A volume dedicated to G.Bernardini. N.Y.: Academic Press, 1968, p.251.
30. *Nakagawa M., Okonogi H., Sakata S., Tojida A.* // Progr. Theor. Phys., 1963, vol.30, p.727.
31. *Биленький С.М., Понтекорво Б.М.* // УФН, 1977, т.123, с.181; Phys. Rept., 1978, vol.41, p.225.
32. *Frampton P., Vogel P.* // Phys. Rept., 1982, vol.82, p.339.
33. *Gribov V., Pontecorvo B.* // Phys. Lett. B, 1969, vol.28, p.493.
34. *Bilenky S., Pontecorvo B.* // Цит. в [24] в сб., vol.1, p.35.
35. *Понтекорво Б.М.* // УФН, 1971, т.3, с.104.
36. *Понтекорво Б.М.* // Письма в ЖЭТФ, 1971, т.13, с.281.
37. *Биленький С.М., Понтекорво Б.М.* // Труды XVIII Межд. конф. по физике высоких энергий. Тбилиси, 1976; Препринт ОИЯИ Е2-10032; Lett. Nuovo Cim., 1976, vol.17, p.569.
38. *Pakvasa S.* // XX Int. Conf. on High Energy Physics, July 17—23, 1980: University of Wisconsin, Madison; Preprint UH-511-410-80.
39. Международная конференция по нейтринной физике и астрофизике, М., 1968; Труды международной конференции «ν'72». Балатонфюред, 1972; «ν'75», Балатонфюред, 1975; «ν'77», долина Баксана, 1977; «ν'82», Балатонфюред, 1982; Труды Рочестерских конференций по физике высоких энергий: XV — Киев, 1970; XVIII — Тбилиси, 1976; Европейская конференция по физике высоких энергий, Будапешт, 1977.
40. *Conversi M., Pancini E., Piccioni O.* // Phys. Rev.. 1947, vol.71, p.209.
41. *Fermi E., Teller E., Weiskopf V.* // Ibid., p.314.
42. *Pontecorvo B.* // Ibid., vol.72, p.246.
43. *Klein O., Weiskopf V.* // Ibid., p.510.
44. *Marshak R., Bethe H.* // Ibid., p.506.
45. *Lattes G., Occhialini G., Powell C.* // Nature, 1947, vol.160, p.453.
46. *Klein O.* // Nature, 1948, vol.161, p.897;
Puppi G. // Nuovo Cim., 1948, vol.5, p.587.
47. *Marshak R., Sudarshan E.* // Phys. Rev., 1958, vol.109, p.1860;
Feynman R., Gell-Mann M. // Ibid., p.193.
48. Cosmic Radiation / Ed. by W.Heisenberg. N.Y.: Dover Publications, 1946.
49. *Hincks E., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1948, vol.73, p.257; Can. J. Res. A, 1950, vol.28, p.29.
50. *Hincks E., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.698; 1950, vol.77, p.102.
51. *Sard R., Althaus E.* // Ibid., 1948, vol.75, p.1251;
Piccioni O. // Ibid., vol.74, p.1754.
52. *Steinberger J.* // Ibid., vol.75, p.1136;
Leighton R., Anderson C., Seriff A. // Ibid., p.1432.
53. *Hincks E., Pontecorvo B.* // Ibid., 1948, vol.73, p.1122.
54. *Michel L.* // Proc. Roy. Soc. A, 1950, vol.63, p.514.
55. *Garwin R., Lederman L., Weinrich M.* // Phys. Rev., 1957, vol.105, p.1415;
Goldhaber M., Grodzins L., Sunyer A. // Ibid., 1958, vol.109, p.1015;
Wu C., Ambler E. et al. // Ibid., 1957, vol.105, p.1413.
56. *Понтекорво Б.М.* // ЖЭТФ, 1959, т.37, с.1751.
57. *Pontecorvo B., Ryndin R.* // Proc. of Kiev Int. High Energy Physics Conf., 1959, p.233.
58. *Понтекорво Б.М.* // См. [35], в кн.: Труды международной конференции «ν'75», Балатонфюред, 1975, т.2, с.124.
59. *Зельдович Я.Б.* // ЖЭТФ, 1959, т.36, с.964.
60. *Барков Л.М., Золотарев М.С.* // Письма в ЖЭТФ, 1978, т.26, с.379; 1981, т.29, с.544.
61. *Prescott C. et al.* // Phys. Lett. B, 1978, vol.77, p.347.

Научно-популярные статьи

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ — ДОРОГАЯ ВЕЩЬ! НУЖНА ЛИ ОНА?*

Сборник статей «Природа материи», перевод которых помещается в настоящем номере журнала «Успехи физических наук», без сомнения, представляет большой интерес. Естественно, что в разных статьях сборника есть очень много общего. Моя статья также повторяет частично то, что уже было обсуждено в этих статьях. Причина этого, однако, не связана только с тем, что некоторые из них я внимательно прочел.

Некоторое время тому назад меня просили прочесть лекцию по вопросу о возможности практического применения физики высоких энергий. Конечно, у меня не было *конкретных* идей по этому поводу, и лекцию я не прочитал. Но сейчас речь идет не о конкретных идеях, скажем, по практическому применению в народном хозяйстве гиперядер и т.д.

Первое замечание, которое я хотел бы сделать, состоит в следующем: маловероятно, что путь, приводящий к практическим применениям физики элементарных частиц и высоких энергий (а я думаю, что такие применения будут), можно предсказать на основании наших сегодняшних знаний. Дело в том, что главное в физике элементарных частиц — ее фундаментальность: здесь не может не быть неожиданных открытий. Поэтому вопрос о практическом применении в народном хозяйстве результатов исследований, скажем, на данном ускорителе высокой энергии — почти незаконный вопрос. Можно сказать, что если бы мы знали что-нибудь определенное по этому поводу, мы знали бы ответы на научные вопросы, которые мы задаем, и тогда незачем проводить исследования, создавать ускорители и т.д.

Кроме того, передовой характер физики элементарных частиц выражается не только в том, что мы не знаем ответа на заданные вопросы (скажем, какой спин у Ω-частицы и т.д.), но также и особенно в том, что мы часто задаем несущественные вопросы. А самые существенные вопросы *редко* задаются в области фундаментальной физики. Успехи физики высоких энергий зависят от того, насколько часто задаются существенные, решающие вопросы. Таким был вопрос Ли и Янга: сохраняется ли четность в слабых взаимодействиях? Но этот вопрос мог возникнуть только после упорной и кропотливой экспериментальной работы, проведенной во многих лабораториях по свойствам *K*-мезонов. А эта работа была поставлена без понимания того, что из этого получатся грандиозные последствия.

---

*УФН, 1965, т 86, вып 4, с.729—732.

Итак, физика элементарных частиц и высоких энергий нам нужна, *во-первых*, потому, что она действительно фундаментальна и долг науки, особенно материалистической науки, исследовать и познавать самые неизвестные и одновременно «простые» области природы. Дело не только в том, что речь идет о крайне интересной проблеме. Дело не только в том, что человеческая любознательность безгранична, и вопрос о спине Ω-частицы — не менее законный, чем вопрос о расшифровке языка майя или о том, действительно ли был отравлен Наполеон, или о природе «сверхзвезд» (для выяснения последнего вопроса, между прочим, требуются огромные средства).

Интерес физики элементарных частиц особый. Она имеет дело со структурой материи, и в этом смысле она продолжает традицию самой передовой физики в прошлом. Физика элементарных частиц поэтому ищет такие знания, без которых нельзя и думать о дальнейшем взаимодействии человека с природой. При этом исследуется не только структура материи, но и структура пространства и времени.

И все-таки, что можно сказать о возможности практического применения физики элементарных частиц? Я постараюсь ответить на это, но не сейчас.

Во-вторых, физика элементарных частиц нужна потому, что она недалека от других разделов физики и от других наук (таких, как биология, медицина, геология, астрономия, астрофизика, физика твердого тела, химия). Несмотря на некоторые скептические утверждения, открытия в области физики элементарных частиц обязаны влиять на другие науки. Это видно уже сейчас, особенно для физики космоса (включая физику космических лучей). В этой области науки появилось уже много работ, в которых подчеркивается важность не только протонов, нейтронов и электронов («старые» элементарные частицы), но и нейтрино, мезонов и гиперонов. А это только начало.

Я сказал бы, что самая характерная особенность прогресса науки в настоящее время состоит в следующем: наряду с увеличением специализации ученых, требуемой экспоненциальным ростом количества научных сведений, замечается невиданное расширение фронта исследований и, если хотите, увеличение числа «гибридных наук» (биофизика, биохимия, ядерная астрофизика, радиационная химия, космическая медицина, мюонная химия, ядерная археология и т.д.). Полное исчезновение с научной арены универсального ученого ренессансного типа — неизбежный закон. Сужение интересов большинства ученых, в том числе и выдающихся, работающих в данном разделе науки, однако, является правилом, имеющим свои исключения. Для того чтобы наука стремительно шла вперед и процесс возникновения «гибридных наук» продолжался быстрыми темпами, необходимо, чтобы хотя бы небольшое число ученых, быть может, даже в ущерб углублению, расширяли свои интересы, умея найти связи между разными науками. С этой точки зрения значительную роль призваны играть неспециализированные научные журналы такого типа, как «Сайентифик Америкэн» и «Природа».

Несколько лет тому назад Л.А.Арцимович в докладе на заседании Академии наук разделил исследования по физике на два класса. Недавно Вайскопф сделал то же самое и назвал эти области столь экзотично, что я не могу перевести этого на русский язык. Буду называть их так: исследования класса А и исследования класса Б. Наука класса А описывает природу в терминах *новых* законов, найти

которые ее цель. Наука класса Б в терминах *известных* законов объясняет разные факты и процессы и ищет новые.

Это не является общепринятым разделением науки на «чистую» и «прикладную». Дело в том, что любая область науки в данный момент времени имеет два аспекта: аспект А и аспект Б. В физике элементарных частиц, например, главную роль сегодня играет аспект А, а в физике твердого тела и физике плазмы — аспект Б. Есть такое правило: сегодня исследования типа Б проводятся на базе исследований типа А предыдущего периода.

Итак, совсем неразумно было бы ожидать большого удельного веса аспекта Б в физике элементарных частиц сегодня. Но элементы аспекта Б уже видны сейчас (например, влияние на астрофизику и т.д.) в физике элементарных частиц, а это означает, что мы имеем право ожидать расширения этого аспекта.

История физики показывает, что когда в науке делается существенное, фундаментальное открытие, почти всегда следует усиление исследований типа Б и влияния на другие области наук. А когда одна область физики влияет на другие области, неизбежны практические применения. Число примеров тому очень велико.

Итак, мы подходим к еще одной важной причине, почему нужна физика элементарных частиц. Она нужна, *в-третьих*, потому, что с большой вероятностью она принесет практическую пользу: повторяю, уже сейчас видна связь физики элементарных частиц с другими науками, а это предвещает появление практического применения. Вспомните о влиянии на практическую химию, которое последовало за связью между ядерной физикой и теоретической химией, открытой Резерфордом. Как заметил Вик, химия — «дело» совсем малоэнергетичное, а когда Резерфорд открыл атомное ядро, исследуя рассеяния альфа-частиц с энергией в несколько МэВ, он, конечно, занимался физикой «высоких энергий».

Хочу напомнить еще об одном из самых первых практических применений физики нейтронов (которая, между прочим, когда-то была частью физики элементарных частиц!), сделанном до появления атомных реакторов и современной атомной техники. В начале нашего века установилась некоторая связь между геологией и ядерной физикой, которая состояла, в частности, в том, что распределение урана и тория в различных породах представляло интерес с точки зрения теоретической геологии и геофизики. Из этого возник уже совсем практический метод гамма-каротажа в нефтяной промышленности, а через 9 лет после открытия нейтрона возник метод нейтронного каротажа, который очень распространен в нефтяных полях всего мира и имеет большое экономическое значение.

Правда, с момента создания первых ускорителей высоких энергий уже прошло пятнадцать лет, а практические применения большого масштаба еще не появились. Но не надо забывать, что иногда проходят очень длительные периоды времени от момента, когда физические законы осмыслены, до их практического применения (например, коэффициенты Эйнштейна (1917 г.) и квантовые генераторы (1954 г.)). Поэтому нельзя требовать, чтобы практический выход от физики элементарных частиц был уже сегодня.

Но все-таки, какие *практические* применения современной физики элементарных частиц и высоких энергий могут быть, кроме, скажем, химии (уже извест-

но, что исследование при помощи мю-мезонов поможет получить сведения о скорости химических реакций), медицины (облучение пионами) и т.д.? Конечно, в духе настоящей статьи ответить на это конкретно нельзя. Но я могу привести примеры того, как это могло бы получиться. Примеры эти взяты из реального развития физики элементарных частиц последнего времени. Правда, они несколько напоминают, как вы увидите, итальянскую пословицу: «Если бы у бабушки были колеса, она была бы каретой».

Возьмем катализ ядерных реакций мюонами. Известно сейчас, что он не дает и не может дать практического применения. Однако *если бы* природа была немного другой, он мог бы дать практическое применение. Другой пример: возьмем явление безрадиационного деления тяжелых ядер мюоном, при котором переход $2p$–$1s$ мезоатома осуществляется не путем испускания фотона, а путем возбуждения тяжелого ядра с соответствующим делением. В этом процессе мюон остается «живым» (но оказывается также, что практического применения этого нет). И здесь также, будь немножко другая природа, применение могло бы быть.

Стоит ли напоминать, что на заре своего развития физика элементарных частиц, установив с теоретической точки зрения, казалось бы, второстепенный факт, что при делении урана испускается более двух нейтронов, породила современную ядерную энергетику?

В настоящее время проблема кварков, поскольку она может быть связанной с возможностью существования стабильного вещества с совершенно необычными свойствами, привлекательна не только с теоретической точки зрения.

Главное — то, что практика, по-видимому, возникает совсем неожиданным образом из познания новых физических законов.

Я НЕ АБСОЛЮТНО УВЕРЕН, ЧТО «ЗАГАДКА СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО» РЕАЛЬНО СУЩЕСТВУЕТ*

Корреспондент. Бруно Максимович, в свое время Вы предложили использовать радиохимические методы для регистрации нейтрино. Как Вы пришли к этой идее?

Б.М.Понтекорво. Меня интересовала сама проблема регистрации нейтрино. В 40-е годы с сомнением относились к мысли, что можно зарегистрировать свободные нейтрино. Так думали просто потому, что вероятность столкновения нейтрино с ядрами вещества до смешного мала. Ведь ожидаемая длина свободного пробега нейтрино с энергией в несколько мегаэлектронвольт в конденсированном веществе имеет астрономические масштабы: в воде она в миллиард раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

Сцинтилляционные счетчики, столь успешно использованные в 50-е годы Ф.Райнесом и К.Коуэном для регистрации свободных антинейтрино от реактора, тогда еще не были изобретены. Мне показалось, что для этого наиболее пригодны методы радиохимии, позволяющие отделить считанные атомы радиоактивного элемента от громадной массы всего вещества, облучавшегося нейтрино. И в 1946 г. я предложил радиохимические методы для детектирования свободных нейтрино, в частности хлор-аргоновый метод. Радиохимические методы вполне подходят для регистрации нейтрино с энергией приблизительно 0,5—15 МэВ.

Корреспондент. Как известно, до сих пор именно хлор-аргоновый метод применялся при поиске солнечных нейтрино. В чем его преимущества?

Б.М.Понтекорво. Хлор-аргоновый метод, обоснованию которого я посвятил ряд экспериментальных и теоретических работ, основан на реакции $^{37}Cl + \nu_e \to {}^{37}Ar + e^-$. Чем хороша эта реакция? Во-первых, можно использовать перхлорэтилен — сравнительно дешевую, не ядовитую, не огнеопасную жидкость, содержащую хлор. Ее можно применять в качестве гигантской мишени. Во-вторых, аргон — благородный элемент, и процедура извлечения нескольких атомов ^{37}Ar из огромного количества C_2Cl_4 относительно проста. Однако я хотел бы подчеркнуть, что, несмотря на эту «простоту», опыт Дэвиса потребовал героических усилий автора. И, наконец, существенно то, что радиоактивный ^{37}Ar живет достаточно долго — около 35 дней. Его распад — это следствие захвата ядром электрона с *K*-оболочки, в которой в результате образуется «дырка». Когда электроны с других оболочек займут эту «дырку», избыточная энергия выделится в виде рентгеновского излучения и (или) пойдет на отрыв одного из электронов внешних оболочек (так называемый эффект Оже). В любом случае суммарная выделившаяся энергия имеет вполне определенное значение — 2,8 кэВ. Я не сразу осознал принципиальную важность этого обстоятельства и вначале предполагал использовать счетчик Гейгера в качестве детектора извлеченного из мишени

*Беседа Б М Понтекорво с корреспондентом И Н Арутюнян // Природа, 1983, № 8, с 74—76

радиоактивного аргона. Однако вскоре мы с Дж.Ханна обнаружили, что небольшое количество ионов (порядка 100), образующихся в счетчике при освобождении энергии 2,8 кэВ, позволяет применить пропорциональные счетчики с большим коэффициентом газового усиления. (Ранее считалось, что при больших коэффициентах усиления пропорциональные счетчики работать не могут.)

Так я пришел к выводу о необходимости использования пропорциональных счетчиков в хлор-аргоновом методе. В пропорциональном счетчике, в отличие от гейгеровского, распад ^{37}Ar оставляет красивый и довольно отчетливый «автограф», и это позволяет значительно снизить фон. Уменьшение достигается не только возможностью измерения в пропорциональном счетчике амплитуды импульсов, но и их формы. Второе обстоятельство стало мне ясно только в 1968 г., и я сообщил о нем Дэвису на нейтринной конференции в Москве.

Корреспондент. Какие нейтрино Вы предполагали изучать с помощью радиохимических методов?

Б.М.Понтекорво. Об источниках нейтрино я скажу два слова. В 1946 г. я обсуждал три возможных источника: Солнце, работающий ядерный реактор и продукты деления «горячего» урана, извлеченные из реактора. Я отмечал тогда, что поток нейтрино от Солнца на поверхности Земли достаточно велик, порядка 10^{10} см$^{-2}\cdot$ с$^{-1}$, но что энергия нейтрино маловата для регистрации хлор-аргоновым методом. Однако это не означает, что я не возвращался позже к проблеме нейтрино от Солнца: она до сих пор меня очень интересует.

Корреспондент. Что Вы думаете о «загадке солнечных нейтрино»?

Б.М.Понтекорво. Под «загадкой» понимается обстоятельство, что поток солнечных нейтрино, зарегистрированный Дэвисом и его сотрудниками, значительно меньше, чем теоретически ожидаемая величина. Напоминаю, что полученное в экспериментах значение потока солнечных нейтрино, как и все величины, измеряемые в физике, имеет некоторую неопределенность. Кроме того, и ожидаемая величина потока, рассчитанная в работах Дж.Бакала, также имеет неопределенность, которую совсем не просто оценить.

Дело в том, что с помощью реакции превращения хлора в аргон можно зарегистрировать лишь относительно малоинтенсивную часть спектра солнечных нейтрино (в основном, нейтрино с достаточно большой энергией, испускаемые, согласно оригинальной работе В.Фаулера, ядрами ^{8}B). Поток нейтрино от ^{8}B в значительной степени определяется температурой в центре Солнца и другими его параметрами. Я бы сказал, что теоретический результат сильно зависит от принимаемой модели Солнца. Кроме того, в погрешность расчетов вносят свой вклад вероятности ядерных столкновений, значения которых до сих пор не очень хорошо известны.

Расчетная величина потока солнечных нейтрино с 1964 г. уменьшилась в пять раз, хотя в последние несколько лет она более или менее стабилизировалась. Быть может, я слишком осторожен, но я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует.

В настоящее время в СССР и США готовятся эксперименты с использованием другого радиохимического метода, который был впервые упомянут В.А.Кузьминым. Я имею в виду так называемый галлий-германиевый метод, осно-

ванный на реакции превращения ^{71}Ga в ^{71}Ge. Эту реакцию способны вызвать и те солнечные нейтрино, которые «ускользают» от регистрации хлор-аргоновым методом. В первую очередь, здесь важны нейтрино низких энергий от интенсивной части нейтринного спектра Солнца. Такие нейтрино испускаются в реакции $pp \to de + \nu_e$; эта часть спектра прекрасно рассчитывается и почти не зависит от модельных предположений. Предстоящие опыты помогут выяснить, действительно ли существует «загадка солнечных нейтрино».

Корреспондент. Представим себе, что «загадка» все же существует, т.е. будущие эксперименты также покажут, что число детектируемых нейтрино меньше ожидаемого. Как ее можно объяснить?

Б.М.Понтекорво. Об одном объяснении «загадки», если она все-таки остается, я уже фактически говорил — принимаемая в качестве «стандартной» модель Солнца может быть не совсем верной.

Другое возможное объяснение относится к самой природе нейтрино. Речь идет о конечной массе нейтрино и явлении нейтринных осцилляций. Если имеют место осцилляции, лишь некоторая часть нейтрино, дошедших от Солнца до Земли, может быть зарегистрирована; остальные нейтрино в этом смысле как бы «стерильны». Это и дает уменьшенную величину измеряемого потока солнечных нейтрино.

Я предсказывал и обсуждал явление осцилляций нейтрино еще до того, как появились сообщения Дэвиса о «загадке». Они были придуманы как очень чувствительный метод проверки закона сохранения лептонного заряда. Конечно, я был бы очень рад, если бы опыты с хлор-аргоновым методом определенно указали на существование «загадки» и, возможно, на наличие осцилляций нейтрино. К сожалению, как я уже говорил, это может быть и не так.

Не исключено, что именно опыты с галлий-германиевым детектором ответят на вопрос о существовании осцилляций. Эксперименты с солнечным нейтрино — самый чувствительный метод поиска осцилляций. Эта проблема очень актуальна. Она не менее важна, чем решенная Дэвисом задача регистрации нейтрино от Солнца.

Корреспондент. С момента появления на свет «загадки солнечных нейтрино» высказывались многочисленные гипотезы о ее происхождении. Чем выделена гипотеза осцилляций?

Б.М.Понтекорво. Действительно, выдвигались довольно экзотические предположения. Думали, что нейтрино могут распадаться по пути от Солнца к Земле. Предполагалось, что энергия Солнца не термоядерного происхождения. Считали, что внутри Солнца может находиться черная дыра. Высказывалось предположение, что в прошлом Солнце приобрело извне значительную часть своей массы, так что его внутренние и внешние части имеют совершенно разный состав, что делает все вычисления абсолютно неправильными...

Объяснение «загадки солнечного нейтрино» с помощью осцилляций выделяется своей неэкзотичностью. Оно привлекательно с точки зрения физики элементарных частиц и не придумано ad hoc, специально для объяснения результатов Дэвиса. Гипотеза осцилляций, в принципе, допускает проверку, независимую от

опытов с солнечными нейтрино, например в экспериментах на реакторах, мезонных фабриках и ускорителях. Правда, опыты с солнечными нейтрино несравненно более чувствительны к осцилляциям, чем другие эксперименты.

Корреспондент. Что вы думаете о вариациях потока солнечных нейтрино?

Б.М.Понтекорво. Под вариациями нейтринной интенсивности в последнее время понимается якобы существующая зависимость от времени потока нейтрино от Солнца, зарегистрированного Дэвисом. Вполне возможно, что вариации имеют место, но, по моему мнению, опубликованные до сих пор результаты пока не указывают на существование таких вариаций. Вопрос о вариациях нейтринного потока можно будет решить на Баксанской нейтринной обсерватории, когда там заработает хлор-аргоновая установка, по объему в пять раз превышающая установку Дэвиса.

Корреспондент. Каково Ваше мнение о наличии массы у нейтрино?

Б.М.Понтекорво. Отличная от нуля масса нейтрино, полученная в экспериментах сотрудников Института экспериментальной и теоретической физики, — результат, который не всеми рассматривается как окончательный. В 1983 г. эта группа, руководимая В.А.Любимовым, добилась существенных методических достижений в постановке эксперимента. Можно надеяться, что окончательный результат не слишком далек. Опыт весьма остроумен, но очень сложен. Аналогичные поиски массы нейтрино предпринимаются в различных лабораториях мира: в СССР, Франции, США, в Европейской организации ядерных исследований и др.

Я бы сказал, что нулевая масса нейтрино выглядит очень красиво. Но не менее красиво было бы, если бы она оказалась отличной от нуля. Дело в том, что не известен принцип, заставляющий массу нейтрино равняться нулю. Для фотона, например, такой принцип есть. Пусть опыт решит этот важнейший вопрос. Кстати, напоминаю, что осцилляции возможны только при конечных и разных массах нейтрино.

Корреспондент. И в заключение, как Вы оцениваете значение опытов Дэвиса?

Б.М.Понтекорво. Я хотел бы подчеркнуть, что Р.Дэвис, зарегистрировав солнечные нейтрино, сделал большое астрономическое открытие и экспериментально доказал, что энергия звезд действительно имеет термоядерное происхождение. Однако проблема солнечных нейтрино не закрыта, и дальнейшие эксперименты могут сыграть важную роль в развитии наших представлений как о Солнце, так и о свойствах самих нейтрино.

ЗАГАДОЧНЫЕ НЕЙТРИНО*

Однажды, лет двадцать тому назад, я гулял у моря по бескрайним и почти пустынным нефтяным полям. Ехавший мне навстречу грузовик резко остановился в облаке пыли, и шофер спросил меня: «Не видели ли вы нейтрона?» Он искал грузовик с аппаратурой, предназначенной для «нейтронного каротажа» — метода геофизической разведки нефти, использующего источник нейтронов.

В то время еще не было ни атомных электростанций, ни атомных ледоколов, ни атомных реакторов, еще не начинались исследования по использованию термоядерных реакций, не было, слава богу, ни атомных, ни водородных бомб. Одним словом, это было до начала так называемой «атомной эры». И мне было крайне удивительно и приятно, что в жизнь простых людей, по крайней мере в нефтяных областях, вошел нейтрон — частица, дорогая мне, которую в душе я связывал с весьма интересными, но, казалось бы, далекими от жизни исследованиями великого итальянского физика Энрико Ферми и его сотрудников.

Между прочим, некоторое время спустя я рассказал Ферми об эпизоде с «нейтронным грузовиком». Он увлекся этим и заметил, что нейтроны и другие элементарные частицы скоро станут популярными всюду. Как известно, драма нашей эры состоит в правильности этого предсказания. Сейчас не только профессора, физики и нефтяники, но и литераторы, художники и рабочие по крайней мере слышали о нейтронах и, может быть, знают, что они главные действующие лица в атомных реакторах и в атомных бомбах. Все знают, что нейтроны и другие элементарные частицы — фотоны, электроны — несут опасность, если человеческое тело подвергается большим дозам облучения этими частицами. Известный кинофильм «Девять дней одного года» увлекает многих наших зрителей несмотря на то, что в нем говорят о нейтронах, о реакторах и о любви к исследованиям термоядерных реакций таким же обычным тоном, каким в других кинофильмах — об автомобилях, лошадях и ревности. Действительно, мир элементарных частиц (так называют микрообъекты, структура которых еще неизвестна) уже не темный лес для «нормальных» людей.

Эта популярность микромира еще не распространилась на все элементарные частицы. Одна из них — нейтрино (по-итальянски нейтрино значит «нейтральненький») — довольно мало известна. Когда меня попросили выступить с рассказом о *нейтринной* астрономии, в телеграмме, которую я получил от редакции, речь шла о нейтронной астрономии. Я вспомнил об этом не для того, чтобы оправдываться опечаткой за то, что до сих пор говорю только о нейтронах. Эта опечатка телеграфиста явно обусловлена популярностью нейтрона и неизвестностью нейтрино.

Бедное нейтрино! Но не всегда это будет так: я уверен, что в недалеком будущем оно обретет должную славу, даже оно войдет в жизнь людей, но не так драматично, как вошел в нашу жизнь нейтрон. Дело в том, что нейтрино играют огромную роль для понимания некоторых фундаментальных законов взаимодействия и взаимного превращения элементарных частиц друг в друга. Нейтрино участ-

*Пути в незнаемое. — М · Сов. писатель, 1963, с.580—586.

вуют в тонких, сложных, но удивительно привлекательных процессах, с выяснением которых, безусловно, будет связана ломка наших физических представлений. Немалую роль играют нейтрино и в астрофизике. Конечно, отсутствие практических применений некоторых видов элементарных частиц (нейтрино, мезоны, гипероны) не уменьшает важности исследований их свойств. Здесь особенно неуместен узкий эмпиризм (вроде: «А что нейтрино дает рязанским колхозникам?»). Вот как президент Академии наук СССР академик М.В.Келдыш охарактеризовал значение исследований в области элементарных частиц: «Наиболее далеко идущие перспективы в области открытия новых источников энергии принесло изучение структуры атомного ядра, природы элементарных частиц и их взаимодействия. На этом пути открыт ряд важнейших свойств материи, знание которых все шире используется в самых различных областях техники и науки. Теоретические и экспериментальные исследования в области ядерной физики и физики элементарных частиц должны являться одним из центральных направлений науки».

Поэтому в Советском Союзе огромное внимание уделяется этой области физики, которая наиболее детально и глубоко выясняет природу материи. У нас создаются колоссальные ускорители заряженных частиц, ведутся теоретические и экспериментальные исследования, изучаются космические лучи.

Из всего сказанного ясно, что в микромире должно быть много неожиданностей. Но, без сомнения, удивительнейшая из всех элементарных частиц — это нейтрино. Самое характерное свойство нейтрино — его потрясающая проникающая способность. Это напоминает мне анекдот о человеке, который, глядя на жирафа в зоопарке, бормочет: «Не может быть». Пусть читатель судит сам: нейтрино могут беспрепятственно проникать, скажем, через чугунную плиту, толщина которой в миллиард раз превышает расстояние от Земли до Солнца. Здесь даже у самого спокойного читателя должны возникать скептические вопросы: а как можно поймать эту неуловимую частицу? А как вообще можно утверждать, что она существует?

Я боюсь, что скептицизм читателя намного увеличится, если скажу, что нейтрино было открыто «теоретически» около тридцати лет назад швейцарским физиком Паули. Поэтому я хочу сразу успокоить читателей: недавно экспериментаторы поймали нейтрино. Но зачем нужно было его «придумывать»? Как часто бывает в науке, новые идеи выдвигаются тогда, когда в рамках существующего знания возникает парадокс. «Изобретение» нейтрино вызвано кажущимся парадоксом, обнаруженным при экспериментальном исследовании самопроизвольного испускания электронов атомными ядрами (так называемого процесса бета-распада). Оказалось, что измеренные энергии вылетающих электронов в этом процессе не строго определенные, а самые разнообразные. В большинстве случаев энергии явно не хватало. Создавалось впечатление, что она куда-то исчезает, как будто закон сохранения энергии не был верен. Трудности были настолько серьезными, что знаменитые физики предлагали даже отказаться от закона сохранения энергии! Кажущееся несохранение энергии, однако, имело довольно странный характер. Действительно, если энергия не сохраняется в процессе бета-распада, следовало бы ожидать, что в одних случаях энергия испускаемых электронов будет слишком мала, а в других — слишком велика. Однако оказалось, что «выигрыша» энергии не бывает. Таким образом, факты, которым в науке всегда принадлежит

последнее слово, а не естественное стремление сохранить незыблемыми законы заставили высоко держать знамя сохранения энергии. Но как объяснить результаты наблюдений? «Изобретатель» нейтрино рассуждал так: кажущееся исчезновение энергии обусловлено тем, что процесс бета-распада просто-напросто неправильно описан. В распаде должна участвовать не наблюдаемая в опыте нейтральная частица, уносящая «исчезнувшую» энергию. И хотя в каждом процессе выделяется точно определенная суммарная энергия всех частиц, она распределяется между продуктами распада так, что в разных случаях электрон получает разные ее порции.

Итак, нейтрино — это частица, которая при бета-распаде уносит часть энергии. Так предполагали физики-теоретики, которые с самого начала «изобрели» ее как неуловимую частицу. И сразу же были предсказаны ее свойства: она должна быть электрически нейтральной и чрезвычайно малой по массе (иначе бы ее легко наблюдали). Последнее свойство, согласно теории относительности, приводит к тому, что нейтрино (если у него нет «массы покоя») не может находиться в состоянии покоя: оно всегда движется со скоростью света. Кроме того, неотъемлемым свойством нейтрино должно быть вращение.

Как выяснилось после открытия других элементарных частиц, особенно мезонов, нейтрино принимает участие и в других процессах, помимо бета-распада ядер. Его присутствие обнаруживается всегда, когда энергия как будто исчезает. Кстати, в этих процессах характер «несохранения» энергии более чем подозрителен и требует существования нейтрино даже более ясно, чем в случае бета-распада. Так, например, в одном виде процессов распада мезонов всегда исчезает определенная энергия. Если бы эти процессы были известны раньше, чем бета-распад, не было бы необходимости в гении Паули для «изобретения» нейтрино — этого непойманного вора энергии.

Я надеюсь, что сказанного достаточно для того, чтобы убедить читателя в теоретической обоснованности существования нейтрино. Но нельзя забывать, что, несмотря на свою неуловимость, нейтрино вполне материально и в принципе доступно регистрации, что его «ненаблюдаемость» вызвана лишь трудностями экспериментальной техники. Поэтому физики, равно как и читатели этой статьи, вправе требовать «железной» проверки гипотезы нейтрино. Поймать «неуловимое», зафиксировать в физическом приборе эффект, вызванный нейтрино вдали от источника его возникновения, — вот что было необходимо для того, чтобы снять мистический ореол с этой таинственной частицы.

Как мы видели, для того чтобы нейтрино прореагировало с веществом, оно должно быть пропущено сквозь астрономическую толщу вещества. Но чтобы поймать его в условиях эксперимента, можно пропускать «астрономическое» число нейтрино сквозь далекую от фантастической, скажем метровую, толщину жидкого или твердого вещества.

На помощь пришло открытие и техническое освоение атомной энергии. Известно, какое огромное значение в науке и технике имеют ядерные реакторы — устройства, где в большом масштабе совершается деление ядер урана нейтронами. В каждом акте деления образуется несколько бета-радиоактивных ядер. Поэтому мощный урановый реактор как раз и есть нужный нам весьма интенсивный источник нейтрино. Рассмотрим, например, атомный реактор мощностью в несколько сотен тысяч киловатт. Полный поток энергии нейтрино, испускаемых этим реак-

тором, по расчетам составит десятки тысяч киловатт. Очень много! И все же уловить «проскальзывающие» частицы крайне трудно. Сквозь защиту этого реактора, поглощающую все другие частицы, будет проникать десять тысяч миллиардов нейтрино в секунду через каждый квадратный сантиметр. Но как зафиксировать действие нейтрино? Здесь помогает теория. Она предсказывает, что должны иметь место процессы, в которых нейтрино поглощается протоном, превращающимся в нейтрон с испусканием электрона. Такие процессы, как бы обратные бета-процессам, и были обнаружены в блестящем и трудном опыте американскими физиками Райнесом и Коуэном. Можно рассчитывать, что нейтрино от нашего реактора, бомбардирующие тонну вещества, содержащего водород (иначе говоря, запас протонов), должны вызывать *ежечасно* около ста превращений протона в нейтрон. Эти превращения можно обнаруживать при помощи хорошо известных экспериментальных методов ядерной физики, способных регистрировать прохождение заряженных частиц. И это предвидение сбылось. «Неуловимая» уникальная частица была наконец поймана. Она занимает сейчас прочное место в семье фундаментальных «кирпичиков» материи.

Фантастическая проникающая способность нейтрино является отражением его чрезвычайно слабого взаимодействия с другими частицами. Между прочим, такое же взаимодействие испытывают и все другие элементарные частицы. Однако они наряду со слабыми испытывают и иные, несравнимо более сильные взаимодействия. Поэтому-то проникающая способность измеряется только, скажем, десятками сантиметров чугуна. А нейтрино уникально тем, что оно подвержено только слабым взаимодействиям, являясь, так сказать, их чистейшим представителем.

Урановые реакторы помогли выяснить еще одну важную характеристику нейтрино. Известно, что в природе имеется очень красивая симметрия, которая в последние несколько лет была окончательно подтверждена рядом фундаментальных опытов. Симметрия эта состоит в том, что каждой частице соответствует двойник — античастица, имеющая точно ту же массу, а все «заряды» — противоположного знака. Под «зарядом» здесь понимается любая внутренняя характеристика частицы, которой приписывается знак: или положительный, или нейтральный, или отрицательный. Неотъемлемыми свойствами любого вида заряда (не обязательно электрического) являются неуничтожаемость и дискретность, то есть способность принимать только вполне определенные значения.

Ясно, что электрически заряженная частица, скажем отрицательный электрон, будет отличаться от своей античастицы — положительного электрона. Но и электрически нейтральная частица может отличаться от своей античастицы. Конечно, если все заряды данной частицы равны нулю, то частица тождественна со своей античастицей. Она истинно нейтральна, то есть лишена всех зарядов. А как обстоит дело в случае с нейтрино? Читатель уже знает, что оно электрически нейтрально. Но является ли нейтрино истинно нейтральным? Отличается ли оно от антинейтрино?

Опыты с реактором дали следующий ответ: да, нейтрино и антинейтрино — разные частицы. Нейтрино имеет неэлектрический, так называемый нейтринный заряд. Природа этого заряда очень любопытна. Она выяснилась только несколько лет назад, особенно благодаря теоретическим работам китайских физиков Ли и Янга и советского физика Ландау. Оказывается, что нейтрино и антинейтрино вращаются в разные стороны по отношению к направлению их движения. В этом

и состоит единственная разница между ними. Сущность нейтринного заряда — это «спиральность», причем нейтрино будет напоминать штопор с левыми витками, а антинейтрино — штопор с правыми витками.

А сейчас я должен извиниться перед читателями: выше я говорил для простоты, что урановый реактор — источник нейтрино, но это неверно: в действительности, если исходить из общепринятого определения, реактор испускает антинейтрино.

То, что я рассказывал до сих пор, — это прошлое нейтрино. Но исследования свойств этой частицы бурно развиваются, и мне хочется сказать хотя бы несколько слов о нерешенных загадках. Речь идет о физике нейтрино высоких энергий — новой области исследований элементарных частиц, только что созданной работами советских и зарубежных физиков. Нейтрино, рождающиеся в реакторах, обладают энергией в несколько миллионов электронвольт. Это в миллион раз больше энергии электронов в атоме. Но сегодня, когда имеются машины, ускоряющие частицы до десятков миллиардов электронвольт, реакторы уже рассматриваются как источники нейтрино «низкой энергии».

Но дело не только в величине энергии: физика нейтрино высоких энергий исследует нейтрино мезонной природы, то есть частицы, рождающиеся при распаде мезонов. Здесь сразу же возникает вопрос: являются ли «неуловимые» нейтрино, испускаемые в совершенно разных процессах, тождественными частицами? Точнее говоря, отличаются ли чем-нибудь «мезонные нейтрино», испускаемые распадающимися мезонами, от «электронных нейтрино» — уже знакомых читателю частиц, рождающихся в процессах бета-распада? Вот один из центральных вопросов сегодняшней физики. Решение этой проблемы требует огромных средств и гигантских ускорителей, разгоняющих заряженные частицы до энергии в десятки миллиардов электронвольт. В них можно получить интенсивные пучки мезонов, которые, распадаясь, создают потоки нейтрино мезонной природы. Эксперименты такого рода ведутся сейчас в различных лабораториях мира.

Физике нейтрино предстоит решить и другие задачи. Об одной из них я хочу коротко рассказать, поскольку она имеет первостепенную важность для понимания законов, которым подчиняется микромир. Имеет ли место рассеяние нейтрино электронами, то есть могут ли электроны отклонять нейтрино с той же вероятностью, с какой происходят все другие процессы, в которых участвуют нейтрино? Поставить соответствующий эксперимент, по-видимому, будет не просто. Здесь хочется только отметить, что этот сугубо абстрактный вопрос, интересный, казалось бы, только для физики элементарных частиц, имеет большое значение и в астрофизике. Действительно, недавно было показано, что гипотеза существования электрон-нейтринного взаимодействия приводит к мысли о новых мощных механизмах потери энергии звездами, основанных на испускании пар нейтрино—антинейтрино.

Нигде так ясно не проявляется связь между микромиром и космосом, как в физике нейтрино. Но проблем нейтринной астрономии и космогонии много. К тому же читатель, наверное, чувствует, что даже в этом коротком рассказе он уже получил по меньшей мере годовую дозу нейтрино.

НЕЙТРИНО В ЛАБОРАТОРИИ И ВО ВСЕЛЕННОЙ*

В последнее время все чаще и чаще не только в солидных научных журналах, но и на страницах газет и популярных изданий читатель встречается с «таинственной» элементарной частицей, носящей довольно странное название — «нейтрино». Что же это за частица, какую роль она играет в физике элементарных частиц и во Вселенной?

Начнем с того, что объясним ее название.

Когда эта частица впервые появилась в физике, ученые уже твердо знали, что существуют такие элементарные частицы, как нейтроны и протоны — «кирпичики», составляющие атомное ядро. Нейтрон не имеет электрического заряда, и по этой причине он получил такое название.

В 1931 г. известный швейцарский физик Вольфганг Паули по причинам, которые я объясню ниже, пришел к выводу, что в природе должна существовать еще одна нейтральная частица с массой, намного меньшей, чем у нейтрона, как он говорил, «маленький нейтрон». Когда он излагал эту идею с трибуны одного международного научного совещания, итальянский физик Энрико Ферми перебил его словами:

— Называйте его «нейтрино»!

Дело в том, что по-итальянски уменьшительно-ласкательное окончание «ино» соответствует русским суффиксам «чик» или «ушк». Так что нейтрино в переводе с итальянского будет означать «маленький нейтральный», или просто «нейтрончик».

Так нейтрино было изобретено Паули, а окрещено Ферми.

Почему физики-теоретики придумали нейтрино

Как часто бывает в науке, новые идеи выдвигаются тогда, когда в рамках существующих знаний возникает парадокс. «Изобретение» нейтрино также было вызвано кажущимся парадоксом, обнаруженным при экспериментальном исследовании так называемого процесса бета-распада. Этот процесс состоит в самопроизвольном испускании отрицательных электронов (e^-) атомными ядрами. Когда нейтрино еще не было «изобретено», предполагали, что бета-распад ядра Z, имеющего заряд $+ Ze$, происходит по схеме

$$Z \to (Z + 1) + e^-.$$

Но оказалось, что энергии вылетающих электронов в этом процессе не строго определенные, а самые разнообразные. В большинстве случаев энергии явно не хватало по сравнению с той, какую они должны были теоретически иметь. Создавалось впечатление, что энергия куда-то исчезает, как будто нарушался закон сох-

*Наука и человечество, 1963, с.282—307.

ранения энергии. Трудности были настолько серьезными, что некоторые крупные физики предлагали даже отказаться от этого фундаментального закона.

Кажущееся несохранение энергии, однако, имело довольно странный характер. Действительно, если энергия не сохраняется в процессе бета-распада, то мы должны были бы ожидать, что иногда энергии электронов будет не хватать, а иногда появится «лишняя». Однако оказалось, что «выигрыша» энергии не бывает.

Таким образом, не естественное стремление сохранить незыблемыми законы физики, а факты, которым в науке всегда принадлежит последнее слово, заставили встать на защиту закона сохранения энергии. Но как?

«Изобретатель» нейтрино рассуждал так. Кажущееся несохранение энергии обусловлено просто тем, что вышеприведенная схема неправильно описывает процесс бета-распада. В нем должна участвовать ненаблюдаемая на опыте нейтральная (и потому практически необнаружимая) частица, уносящая «исчезнувшую» энергию. Она и была названа нейтрино (ν). Таким образом, схема бета-распада выглядела так:

$$Z \to (Z+1) + e^- + \tilde{\nu}$$

(разрешите мне пока не давать объяснения значку «~» над символом ν).

И хотя выделяющаяся при этом суммарная энергия всех частиц имеет точно определенную величину, она распределяется между продуктами распада так, что в разных случаях электрон получает разные ее порции. Самый фундаментальный процесс бета-распада — распад нейтрона будет поэтому описан схемой

$$n \to p + e^- + \tilde{\nu}.$$

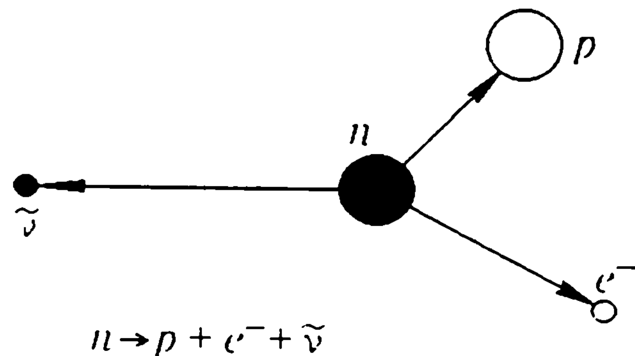
Внутри атомных ядер протон также может превращаться в нейтрон с испусканием положительного электрона (или позитрона) и нейтрино:

$$p \to n + e^+ + \nu.$$

Заметим здесь, что с логической точки зрения тот тип рассуждений, который привел Паули к теоретическому предсказанию существования нейтрино, часто встречается при решении даже самых простых парадоксов. Вот, например, старый парадокс с цирюльником. В маленьком городке, скажем, в Дубне на Волге, живет парикмахер, который подстригает всех мужчин, кто не стрижет самих себя. Спрашивается, стрижет ли себя сам парикмахер? Ясно, что как положительный, так и отрицательный ответ на этот вопрос ведет к противоречию. Парадокс решается, если сообразить, что нет и не может быть такого парикмахера. И если вы внимательно проследите за рассуждениями Паули, вы увидите, что аргументы в пользу существования нейтрино в природе очень похожи на те, которые приводятся против существования нашего парикмахера в Дубне.

Итак, нейтрино — это частица, которая при бета-распаде уносит часть энергии. Так предполагали физики-теоретики, которые с самого начала изобрели ее как «неуловимую» частицу. И сразу же были предсказаны свойства новой частицы: она должна быть электрически нейтральной, очень проникающей и чрезвычайно малой по массе. Иначе экспериментаторам было бы нетрудно обнаружить ее, а это оказалось совсем не просто. Последнее свойство — крайне малая

масса — согласно теории относительности приводит к тому, что нейтрино не может находиться в состоянии покоя: оно всегда движется со скоростью света.



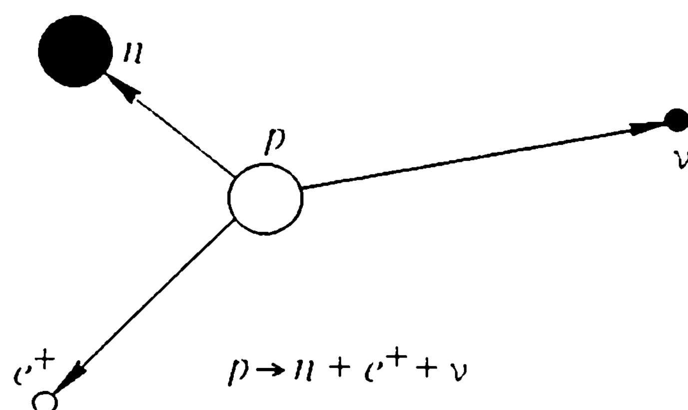


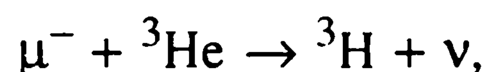
Схема бета-распада нейтрона и протона

После того как гипотеза о существовании нейтрино была сформулирована, физики попытались найти и другие доказательства его присутствия в бета-распаде. Как известно, при превращениях частиц, как и при любых физических процессах, происходящих в какой-нибудь системе, сохраняется не только энергия, но и количество движения, или импульс. Закон сохранения количества движения, вероятно, известен читателю: на нем основан, например, принцип действия ракеты.

Если нейтрон, испытывающий бета-распад, неподвижен, то его импульс равен нулю. Значит, и суммарный импульс всех частиц — продуктов распада — также должен быть равен нулю. Но в многочисленных опытах, первый из которых еще в 1934 г. поставил советский физик Александр Ильич Лейпунский, было показано, что суммарный импульс электрона и ядра отдачи $(Z+1)$ при бета-распаде ядра Z не равен нулю. Это подтверждает гипотезу о нейтрино: неуловимая частица уносит «исчезающий» импульс.

Как выяснилось после открытия других элементарных частиц, особенно так называемых мезонов, нейтрино принимает участие не только в бета-распаде ядер, но и в других процессах. Его присутствие обнаруживается всегда, когда энергия как будто исчезает. Кстати, в некоторых из этих процессов, где число образующихся частиц равно двум, а не трем, как в процессе бета-распада, характер «несохранения энергии» более чем подозрителен и требует существования нейтрино еще яснее, чем в случае бета-распада.

Например, при распаде так называемого пиона (или пи-мезона) всегда «исчезает» определенная энергия, около 30 миллионов электронвольт. В процессе захвата мюона (или мю-мезона) ядром гелия-3


$$\mu^- + {}^3\mathrm{He} \to {}^3\mathrm{H} + \nu,$$

обнаруженном в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, «исчезает» около 100 миллионов электронвольт (энергия нейтрино), а ядра отдачи трития ${}^3\mathrm{H}$ имеют энергию, всегда точно равную 1,9 миллиона электронвольт. Если бы эти процессы были известны раньше, чем бета-распад, быть может, не было бы необходимости в гении Паули для «изобретения» нейтрино.

Подводя итоги, можно сказать, что нейтрино было «изобретено» теоретически, что свойства этой «неуловимой» частицы были первоначально постулированы с целью оправдания ее «ненаблюдаемости». Такое положение господствовало в

физике нейтрино в последние 25 лет. Ферми, оставивший неизгладимый след во всех областях физики, не мог успокоиться только почетной ролью «крестного отца» нейтрино и создал количественную теорию процесса бета-распада, основанную на аналогии с теорией излучения квантов света возбужденным атомом. Согласно этой теории, подобно тому, как фотон рождается в процессе разрядки возбужденного состояния, а не находится заранее внутри возбужденного атома, так и атомное ядро испускает пару нейтрино—электрон в процессе бета-распада, а о существовании нейтрино и электронов внутри ядра речь идти не может.

Возможно, что у некоторых, если не у всех, читателей возникла скептическая мысль: ведь нейтрино открыли теоретически, исследовали косвенным образом, а не фантазия ли все это?

Теоретическое «изобретение» нейтрино, правда, вполне обоснованно. Но нейтрино, конечно, материально и, в принципе, доступно регистрации. Его ненаблюдаемость могла быть только временной, вызванной трудностями, связанными с уровнем экспериментальной техники. Поэтому физики, так же как и читатели этой статьи, вправе требовать «железной» проверки гипотезы нейтрино.

Как физики-экспериментаторы «поймали» нейтрино

Поймать неуловимое, зафиксировать эффект, вызванный свободным нейтрино, — вот что было необходимо для окончательного доказательства существования этой таинственной частицы.

Сложность задачи объяснялась колоссальной проникающей способностью, которая ожидалась для нейтрино. Откровенно говоря, об этом не было достаточно конкретно сказано в начале нашей статьи, чтобы не вызвать у читателя полного недоверия. Но сейчас речь пойдет об опытах, которые позволили «поймать» нейтрино и доказали, что оно действительно обладает теоретически приписанными ему удивительными свойствами. И теперь можно сказать, что нейтрино могут беспрепятственно проникать, скажем, сквозь чугунную плиту, толщина которой в миллиарды раз превышает расстояние от Земли до Солнца!

Иными словами, через километровую толщину твердого вещества надо пропустить миллион миллиардов нейтрино, чтобы хоть одно из них могло вызвать какой-нибудь эффект.

И все же эта, казалось бы, неразрешимая задача была решена. Понятно, что пропускать одно нейтрино сквозь астрономическую толщину вещества, чтобы оно с большой вероятностью прореагировало, — это нереально. Более практично пропускать астрономическое число нейтрино через разумную, скажем метровую, толщину жидкого или твердого вещества.

Здесь помогло бурное развитие нейтронной физики, связанное с открытием и техническим освоением атомной энергии.

Известно, какое огромное значение в науке и практике имеют ядерные реакторы — устройства, в которых совершается деление ядер урана нейтронами. В каждом акте деления образуется несколько бета-радиоактивных ядер. И если

справедлива гипотеза о существовании нейтрино, то в распадах таких ядер нейтроны должны испытывать превращения согласно знакомой нам схеме:

$$n \rightarrow p + e^{-} + \tilde{\nu}$$

(теперь можно сказать, что значок «~» над символом нейтрино ν означает, что речь идет об антинейтрино; о том же, что это такое, мы расскажем немного ниже).

Значит, мощные реакторы должны быть интенсивными источниками антинейтрино.

В качестве примера рассмотрим атомный реактор мощностью 300 тысяч киловатт. Это очень большая мощность. Каждую секунду такой реактор испускает около $5 \cdot 10^{19}$, т.е. больше 10 миллиардов миллиардов антинейтрино. И все же уловить «проскальзывающие» частицы и здесь крайне трудно. О попытке зафиксировать нагрев вещества под действием нейтрино не может быть и речи. Для того чтобы, скажем, половина энергии, переносимой этим потоком частиц, освобождалась в виде тепла, необходим поглотитель массой 10^{60} тонн, что неизмеримо превышает массу Солнца.

Зато регистрация отдельных событий, вызванных антинейтрино, возможна. Физики предсказали любопытный ядерный процесс, который, несомненно, может быть вызван нейтрино и антинейтрино, если они существуют, — процесс, обратный бета-распаду.

Представьте себе, что антинейтрино встречается с протоном — ядром атома водорода. Что произойдет при этом? Теория утверждает: будут случаи, когда антинейтрино и протон превратятся в позитрон и нейтрон:

$$\tilde{\nu} + p \rightarrow n + e^{+}.$$

Вероятность этого процесса можно хорошо рассчитать. А регистрируя его в эксперименте, можно одновременно проверить гипотезу существования нейтрино.

Разумеется, для эксперимента необходим очень мощный источник «неуловимых» частиц. Но упоминавшийся нами реактор мощностью в 300 тысяч киловатт вполне пригоден для этой цели. На расстоянии 10 метров от него ожидаемый поток антинейтрино через каждый квадратный сантиметр составит примерно 10^{13} частиц в секунду. Такой поток антинейтрино, бомбардирующих тонну содержащего водород вещества (иначе говоря, запас протонов), по расчету должен каждый час вызывать около 100 превращений протонов в нейтроны.

И это предвидение сбылось. Оно подтвердилось в блестящем опыте, законченном в 1957 г. американскими физиками Райнесом и Коуэном. Антинейтрино попадали в огромный сцинтилляционный счетчик — цистерну с содержащим водород веществом, способным испускать вспышку света (сцинтилляцию), когда сквозь него проходит электрически заряженная частица. Каждую такую вспышку регистрировали фотоэлементы.

Эксперимент проходил так. Как только протон, которому выпала крайне редкая судьба встретиться с антинейтрино, превращался в нейтрон и позитрон, последний давал вспышку и регистрировался фотоэлементами. Через некоторое время нейтрон замедлялся и, когда он становился совсем медленным, захватывался

одним из ядер атомов вещества счетчика. При этом рождались кванты электромагнитного излучения, которые регистрировались в том же сцинтилляторе. Таким образом, каждое взаимодействие антинейтрино с протоном влекло за собой две вспышки света. Одна из них фиксировалась сразу же, а другая — с некоторой задержкой.

Опыт был необычайно трудным. Достаточно сказать, что объем сцинтиллятора примерно в тысячу раз превышал обычный объем подобных устройств, используемых в исследовательских работах по ядерной физике. Это было вызвано тем, что благодаря «инертности» антинейтрино меньший объем прибора привел бы к очень незначительному числу регистрируемых событий.

Подготовка и выполнение этого уникального эксперимента потребовали более пяти лет.

Так «вор энергии» был, наконец, пойман. Он занимает сейчас прочное место в семье фундаментальных кирпичиков материи.

От всех других элементарных частиц нейтрино отличается чрезвычайно слабым взаимодействием с ними. Это объясняет и астрономическую проникающую способность нейтрино. Такое слабое взаимодействие могут испытывать и все другие элементарные частицы. Однако последние, кроме слабых взаимодействий, испытывают и иные, несравнимо более сильные, так что их проникающая способность измеряется, скажем, только десятками сантиметров чугуна.

Нейтрино уникально тем, что у него только слабое взаимодействие, чистейшим представителем которого оно является.

Сильные и слабые взаимодействия элементарных частиц

Читателю знакомы разные по своей природе силы, проявляющиеся во взаимодействиях между телами. Но глубоко различающихся в принципе типов взаимодействия очень мало. Если не считать тяготения, которое играет существенную роль только в присутствии огромных масс, то известны лишь три вида взаимодействий: сильные, электромагнитные и слабые.

Электромагнитные взаимодействия всем знакомы. Благодаря им движущийся неравномерно электрический заряд (скажем, электрон в атоме) испускает электромагнитные волны (например, видимый свет). С этим классом взаимодействий связаны все химические процессы, а также все молекулярные явления — поверхностное натяжение, капиллярность, адсорбция, текучесть. Электромагнитные взаимодействия, теория которых блестяще подтверждается опытом, глубоко связаны с электрическим зарядом элементарных частиц.

Сильные взаимодействия стали известны только после раскрытия внутренней структуры атомного ядра. В 1932 г. было обнаружено, что оно состоит из нуклонов, нейтронов и протонов. И именно сильные взаимодействия соединяют нуклоны в ядре — отвечают за ядерные силы, которые в отличие от электромагнитных характеризуются очень малым радиусом действия (около 10^{-13}, т.е. одной десятитриллионной доли сантиметра) и большой интенсивностью. Кроме этого, сильные

взаимодействия появляются при столкновениях частиц высоких энергий с участием пионов и так называемых «странных» частиц.

Интенсивность взаимодействий удобно оценивать по так называемой длине свободного пробега частиц в некотором веществе, т.е. по средней величине пути, который частица может пройти в этом веществе до разрушающего или сильно отклоняющего соударения. Ясно, что чем больше длина свободного пробега, тем менее интенсивно взаимодействие.

Если рассматривать частицы очень высокой энергии, то соударения, обусловленные сильными взаимодействиями, характеризуются длиной свободного пробега частиц, соответствующей по порядку величины десяткам сантиметров в меди или железе.

Иначе обстоит дело при слабых взаимодействиях. Как мы уже сказали, длина свободного пробега нейтрино в плотном веществе измеряется в астрономических единицах. Это указывает на удивительно малую интенсивность слабых взаимодействий.

Любой процесс взаимодействия элементарных частиц характеризуется некоторым временем, определяющим его среднюю продолжительность. Процессы, вызванные слабыми взаимодействиями, часто называют «медленными», так как время для них относительно велико.

Читатель, правда, может удивиться тому, что явление, происходящее, скажем, за 10^{-6} (одну миллионную долю) секунды, классифицируется как медленное. Такое время жизни характерно, например, для распада мюона, вызванного слабыми взаимодействиями. Но все познается в сравнении. В мире элементарных частиц такой промежуток времени действительно весьма продолжителен. Естественной единицей длины в микромире служит 10^{-13} сантиметра — радиус действия ядерных сил. А так как элементарные частицы высокой энергии имеют скорость, близкую к скорости света (порядка 10^{10} сантиметров в секунду), то «нормальный» масштаб времени для них составит 10^{-23} секунды.

Это значит, что время 10^{-6} секунды для «граждан» микромира гораздо более продолжительно, чем для нас с вами весь период существования жизни на Земле.

Действительно ли нейтрино нейтрально?

Урановые реакторы помогли выяснить еще одну важную характеристику нейтрино, а именно — существование у него «нейтринного» заряда. Но разве нейтральная частица может обладать зарядом?

Известно, что в природе имеется очень красивая симметрия, которая в последние несколько лет была окончательно подтверждена рядом фундаментальных опытов. Симметрия эта состоит в том, что каждой частице соответствует двойник — античастица, имеющая массу, одинаковую с частицей, а все «заряды» противоположного знака.

«Заряд» — это любая внутренняя характеристика частицы, которой приписывается знак: или положительный, или нейтральный, или отрицательный. Любому

виду заряда обязательно свойственны неуничтожаемость и дискретность (т.е. они могут принимать только вполне определенные и выделенные значения).

Ясно, что электрически заряженная частица, скажем, отрицательный электрон будет отличаться от своей античастицы — положительного электрона. Но и электрически нейтральная частица, т.е. частица, не имеющая электрического заряда, может отличаться от своей античастицы. Конечно, если все заряды данной частицы равны нулю, то она тождественна со своей античастицей; она в этом случае истинно нейтральна.

А как обстоят дела с нейтрино? Мы уже знаем, что оно электрически нейтрально. Но является ли нейтрино истинно нейтральным? Отличается ли нейтрино от антинейтрино? И вот опыты с реактором дали следующий ответ: да, нейтрино и антинейтрино — разные частицы. Нейтрино не истинно нейтрально; оно имеет неэлектрический заряд — так называемый нейтринный заряд.

Но прежде чем рассказать о том, как это было показано, мне предстоит еще выполнить свое обещание и раскрыть смысл значка «~» над символом нейтрино ν.

Как мы уже говорили, $\tilde{\nu}$ означает антинейтрино. Так назвали «неуловимую» частицу, которая возникает при распаде нейтрона.

Почему же антинейтрино, а не нейтрино? Это название выбрано совершенно произвольно и только ради удобства. Такие условности в физике встречаются нередко. Например, ничего не изменилось бы, если бы в один прекрасный день мы решили считать электрический заряд электрона положительным. Конечно, автоматически заряд у антиэлектрона стал бы отрицательным.

Итак, мы называем антинейтрино ту частицу, которая испускается при бета-распаде совместно с отрицательным электроном (когда нейтрон превращается в протон). Но физики давно знают и другой процесс, именуемый бета-плюс-распадом, когда протон внутри атомного ядра самопроизвольно превращается в нейтрон, позитрон и «неуловимую частицу». И только эту частицу мы должны назвать нейтрино.

Однако пока совершенно не ясно, отражают ли эти два названия реальную суть вещей или различие между ними чисто формальное. Иначе говоря, нам надо выяснить, отличаются ли по каким-то характеристикам нейтрино от антинейтрино.

Мы видели, что антинейтрино с протоном может дать позитрон и нейтрон. Аналогично этому столкновение нейтрино с нейтроном может дать электрон и протон (ибо последняя реакция вызвана тем же самым взаимодействием, что и предыдущая).

Но другое дело, если мы рассмотрим реакции

$$\nu + p \rightarrow n + e^{+}, \quad \tilde{\nu} + n \rightarrow p + e^{-}.$$

Обе эти реакции получены из двух предыдущих путем замены нейтрино на антинейтрино и наоборот. Если различие между нейтрино и антинейтрино чисто формальное, если оно существует лишь в записи, то, конечно, возможны обе реакции. Если же это различие реальное, т.е. отражает различие внутренних свойств этих частиц, то эти реакции невозможны.

Итак, для проверки вопроса о различии нейтрино и антинейтрино можно использовать одну из последних реакций. Поскольку мы не имеем интенсивных источников нейтрино, но у нас есть зато источники антинейтрино — урановые реакторы, то удобно исследовать вторую из приведенных выше реакций. Правда, вещества, состоящего из одних только нейтронов, не существует. Но это не принципиальный вопрос. Можно изучить реакцию на нейтронах, находящихся внутри атомного ядра. Особенно удобным оказалось ядро хлора-37. Этот крайне трудный опыт был закончен недавно. Было найдено, что процесс



$$\tilde{\nu} + {}^{37}\mathrm{Cl} \rightarrow {}^{37}\mathrm{Ar} + e^-$$

не осуществляется. Значит, и в самом деле нейтрино и антинейтрино — разные частицы, имеющие противоположные знаки некоего неэлектрического, нейтринного заряда.

Какова природа этого заряда?

С тех пор как была выдвинута гипотеза о нейтрино, не было сомнения в том, что нейтрино должны иметь «спин», т.е. являются вращающимися объектами (в квантово-механическом смысле). Можно было ожидать, что в составе пучка нейтрино половина частиц имеет правое вращение по отношению к направлению движения, а другая половина — левое. Это следовало из физического закона, который до 1957 г. считался неоспоримым, — «закона сохранения четности». В соответствии с ним во всех физических явлениях должна иметь место строгая право-левая («зеркальная») симметрия, так что в природе не должны происходить явления, в которых правое преобладает над левым и наоборот.

В нашем случае закон сохранения четности запрещает испускание, как говорят физики, «продольно поляризованных» нейтрино, т.е. нейтрино, имеющих, скажем, преимущественно левое вращение по отношению к направлению движения.

Кроме того, до 1957 г. думали, что имеет место и другая симметрия — зарядовая, благодаря которой любое физическое явление остается «инвариантным» (т.е. описывается одним и тем же математическим законом), если каждую частицу заменить ее античастицей. Такая симметрия не позволяет нейтрино иметь только левое вращение, а антинейтрино — только правое.

Однако в 1957 г. китайские физики, работающие в США, — Ли Дзундао и Янг Чженьнин выдвинули гипотезу, что при слабых взаимодействиях эти два закона симметрии не имеют места. В многочисленных экспериментах обнаружились явления, в которых эти законы явно нарушаются, но обязательно оба сразу.

Советский физик, лауреат Ленинской и Нобелевской премий Лев Давидович Ландау показал, что в природе существует более глубокая симметрия, которую он назвал комбинированной инверсией. Предложенный им новый закон утверждает, что любое явление остается инвариантным, если одновременно «правое заменить на левое», а каждую частицу заменить ее античастицей.

С точки зрения нового закона, нейтринный пучок «имеет право» быть полностью поляризованным. Кроме того, если нейтрино вращается справа налево, то антинейтрино должно вращаться слева направо по отношению к направлению своего движения. Такая возможность и предусматривается теорией «продольного

нейтрино» А.Салама, Л.Ландау, Ли и Янга, согласно которой эти частицы должны быть полностью поляризованы. Вместе с тем, по этой теории, нейтрино обязаны иметь массу, строго равную нулю, а значит, в соответствии с теорией относительности, скорость их всегда равна скорости света.

Все эти предсказания теории ныне подтверждаются в опытах. Доказано, что нейтрино вращается справа налево (если смотреть по ходу его движения). Известно, что степень поляризации нейтрино и антинейтрино очень высока. Правда, не доказано еще экспериментально, полностью ли поляризованы неуловимые частицы, как этого требует теория продольного нейтрино, и точно ли равна нулю их масса.

Таким образом, мы может заключить, что нейтрино и антинейтрино отличаются друг от друга тем, что имеют разное направление «спиральности», причем нейтрино напоминает винт с левой резьбой, а антинейтрино — с правой. Но здесь возникает естественный вопрос: сведется ли к этому сущность нейтринного заряда? Иными словами, является ли разное направление «спиральности» нейтрино и антинейтрино единственным различием между этими частицами?

Всего несколько месяцев назад большинство физиков, я думаю, дали бы положительный ответ на этот вопрос. Однако недавно законченный важный опыт, о котором речь будет идти ниже, показывает, что вопрос о природе нейтринного заряда не такой простой.

Нейтрино высоких энергий

То, о чем говорилось до сих пор, — это прошлое физики нейтрино. Сейчас я расскажу о задачах физики нейтрино, которые еще не решены или решаются в настоящее время.

Исследования нейтрино бурно развиваются, особенно в связи с созданием советскими и зарубежными физиками новой области физики элементарных частиц — физики нейтрино высоких энергий.

Нейтрино, испускаемые радиоактивными ядрами урановых реакторов, имеют энергию, по порядку величины равную характерной ядерной энергии, т.е. несколько миллионов электронвольт. Эта энергия в миллион раз превышает энергию электронов в атоме, но сегодня, когда имеются машины, ускоряющие частицы до десятков миллиардов электронвольт, реакторы рассматриваются как источники нейтрино низкой энергии.

Для физики нейтрино высоких энергий характерно то, что в этой области науки исследуются главным образом нейтрино «пионной природы», т.е. нейтрино, рождающиеся при распаде пиона.

Как можно получить пучок нейтрино пионной природы?

Представьте себе современный ускоритель, дающий протоны с энергией в десятки миллиардов электронвольт (такой, как дубненский синхрофазотрон Объединенного института ядерных исследований или американский брукхейвенский ускоритель). Когда протоны попадают на мишень (скажем, алюминиевую пластинку толщиной в несколько сантиметров), рождаются пионы. Эти пионы распа-

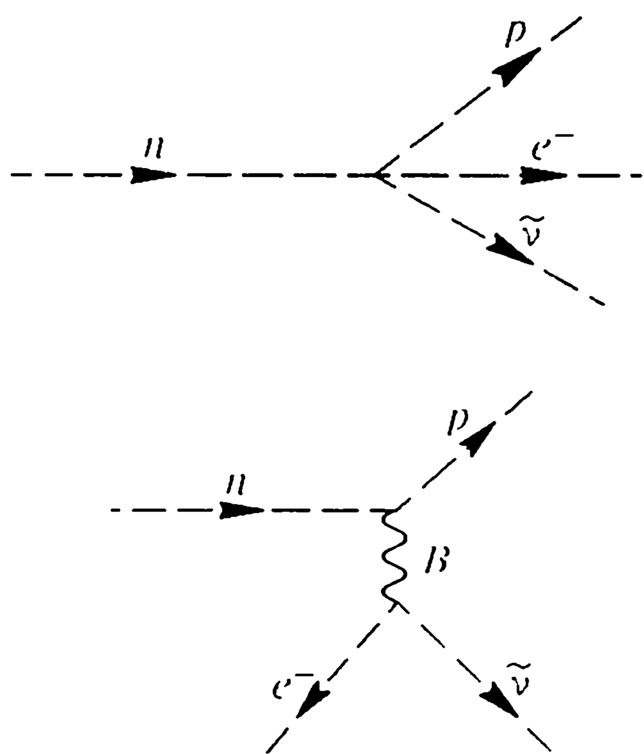
даются на лету (средний путь их до распада в вакууме измеряется десятками метров). При этом образуется нейтрино согласно схеме

$$\pi \to \mu + \nu.$$

И вот именно пучки нейтрино пионной природы используются в настоящее время в крупнейших лабораториях мира. Масштаб опытов потрясающ. Для их выполнения необходимы ускорители с магнитами, вес которых превышает десятки тысяч тонн, а сам детектор нейтрино весит десятки тонн.

Каковы главные проблемы физики нейтрино высоких энергий? Современная количественная теория слабых взаимодействий, созданная недавно Ричардом П.Фейнманом и Мюрреем Гелл-Манном на основе идей Ферми, Ли и Янга, Ландау и Салама, универсальна. Это означает, что поведение всех других частиц при слабых взаимодействиях по существу одинаково с поведением нейтрино.

Согласно теории Фейнмана и Гелл-Манна, физические процессы, связанные со слабым взаимодействием, в области малой энергии можно рассчитать довольно хорошо. Но при больших энергиях появляются фундаментальные трудности. Сама теория предсказывает, что слабость взаимодействия нейтрино относительно уменьшается, когда энергия нейтрино увеличивается.



Схемы распада нейтрона: вверху — при предположении локального взаимодействия частиц; внизу — с участием промежуточного бозона

Если это увеличение интенсивности взаимодействия нейтрино с возрастанием энергии продолжается, то при фантастически высокой энергии в 300 миллиардов электронвольт мы столкнулись бы с абсурдным результатом: вероятность некоторых событий превышала бы единицу, а мы знаем, что вероятность по ее природе всегда менее единицы или равна ей. Это означает, что при энергии меньше 300 миллиардов электронвольт увеличение интенсивности взаимодействия должно прекратиться.

Но сразу возникают следующие вопросы.

Будет ли увеличение интенсивности взаимодействия прекращаться вблизи 300 миллиардов электронвольт или при очень существенно меньшей энергии? Этот вопрос можно поставить и по-другому: станет ли слабое взаимодействие сильным при очень высокой энергии или нет?

Второй вопрос: какой механизм отвечает за прекращение роста интенсивности взаимодействия?

Определенных ответов на эти вопросы физики пока не могут дать. Самый простой теоретический ответ (правда, не обязательно правильный) состоит в предположении, что слабые взаимодействия четырех частиц (например, нейтрона, протона, электрона и нейтрино при бета-распаде) имеют, так сказать, вторичный характер: они как будто обусловлены гипотетической частицей *B* (физики называют ее «промежуточным бозоном», а почему, я не стану объяснять), которая

является носителем слабых взаимодействий. Приводимые здесь схемы представляют соответственно бета-распад нейтрона при двух предположениях:

а) без промежуточного бозона, т.е. когда процесс взаимодействия четырех частиц — первичный (или, как говорят, локальный);

б) когда взаимодействие четырех частиц вторично и осуществляется промежуточным бозоном.

Оказывается, что во втором случае увеличение интенсивности взаимодействия с ростом энергии частиц естественным образом прекращается при относительно небольшой энергии.

Таким образом, существование частицы *B* помогает понять трудный теоретический вопрос. В настоящее время в разных лабораториях предпринимаются попытки наблюдать эту частицу при помощи пучков нейтрино высокой энергии.

Но, оказывается, и существование этой гипотетической заряженной частицы создает определенные трудности.

Дело в том, что на основании ее существования физики предсказали ряд процессов, которые в действительности не происходят. Правда, трудность довольно общая и не связана только с существованием частицы *B*, но она особенно ярко проявится, если заряженный промежуточный бозон существует. Типичный пример таких неосуществимых процессов — так называемый радиационный распад мюона, т.е. испускание мюоном электрона и фотона:

$$\mu^{\pm} \to e^{\pm} + \gamma.$$

В течение долгого времени физики безуспешно пытались обнаружить этот процесс. Что же запрещает мюону превращаться в электрон и фотон? Здесь следует возвратиться к общему понятию о зарядах частиц.

Вспомним, что при разных превращениях любой заряд сохраняется точно так же, как электрический. Именно тот факт, что некоторые, на первый взгляд возможные, превращения частицы на самом деле не наблюдаются, заставил ввести понятие разных зарядов. Неуничтожаемость заряда (любого, а не только электрического) запрещает эти превращения. Например, мы знаем, что нуклоны — протоны и нейтроны — никогда не распадаются только на «легкие частицы». Это позволяет утверждать, что нуклон имеет так называемый барионный заряд, а никакая комбинация легких частиц барионного заряда не имеет.

Сразу возникает подозрение, что процессы типа распада мюона на электрон и фотон, которые ожидались теоретически, но в действительности не происходят, запрещены законом сохранения некоторого до сих пор неизвестного заряда, скажем, «мюонного» заряда, характерного для мюона, но не для электрона. Здесь следует напомнить, что фотон — истинно нейтральная частица. Он не имеет никаких зарядов.

Однако имеется один процесс — распад мюона, в котором мюон и электрон участвуют совместно. Такой процесс состоит в испускании мюоном электрона совместно с двумя разными частицами ничтожно малой массы, о чем свидетельствуют экспериментальные исследования формы спектра электронов в этом процессе. На этом основании долго думали, что процесс идет по схеме

$$\mu^{\pm} \to e^{\pm} + \nu + \tilde{\nu}.$$

Но такая схема трудно совместима с предположением о существовании мюонного заряда, запрещающего переход мюона в электрон и фотон. Ведь пара $\nu\tilde{\nu}$, по определению частицы и античастицы, не имеет никаких зарядов, как и фотон, так что в описанной схеме мюонный заряд, если он существует, не сохраняется.

Можно предположить, что имеются два сорта пар нейтрино—антинейтрино: «мюонные» и «электронные». При этом они отличаются друг от друга тем, что у «мюонных» нейтрино ν_μ (но не у «электронных» ν_e) имеется мюонный заряд. Тогда распад мюона может происходить по схеме

$$\mu^+ \to e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$$

и мюонный заряд сохраняется, поскольку разница зарядов мюона и электрона, так сказать, компенсируется разницей зарядов испускаемых «неуловимых» частиц.

В настоящее время неизвестно, все ли приведенные аргументы правильны, но именно они, по существу, заставили советского физика Моисея Александровича Маркова и других ученых предсказать существование двух типов нейтрино. Это разрешило бы трудности, связанные с отсутствием процесса распада мюона на электрон и фотон и с возможностью существования *B*-частицы.

Таким образом, сегодня выявляются следующие главные проблемы физики нейтрино высоких энергий:

Как зависит интенсивность слабого взаимодействия от энергии?

Первично ли слабое взаимодействие или оно обусловлено некоторой промежуточной частицей?

Существует ли в природе только одна пара нейтрино или их две пары: $\nu_e\tilde{\nu}_e$ и $\nu_\mu\tilde{\nu}_\mu$?

Одно или два нейтрино?

Итак, существование двух типов нейтрино означало бы, что нейтрино, участвующие в разных реакциях совместно с электроном (электронные нейтрино ν_e), отличаются от нейтрино, участвующих в реакциях совместно с мюоном (мюонные нейтрино ν_μ). В частности, нейтрино, испускаемые в процессе бета-распада (ν_e), отличаются от нейтрино, испускаемых в распадах пиона (ν_μ).

Но как можно показать, что эти частицы действительно отличаются друг от друга?

Если вы внимательно следили за принципом описанного выше опыта, в котором было сказано, что нейтрино и антинейтрино — разные частицы, то вы поймете, как можно решить проблему различия мюонных и электронных нейтрино.

Действительно, логические аргументы, позволяющие доказать отличие ν от $\tilde{\nu}$ и ν_e от ν_μ, очень близки.

Из сказанного выше ясно, что мощные синхрофазотроны должны быть источниками мюонных нейтрино. Рассмотрим сейчас некоторые реакции, которые могут быть вызваны этими частицами, например,

$$\tilde{\nu}_\mu + p \to n + \mu^+,$$

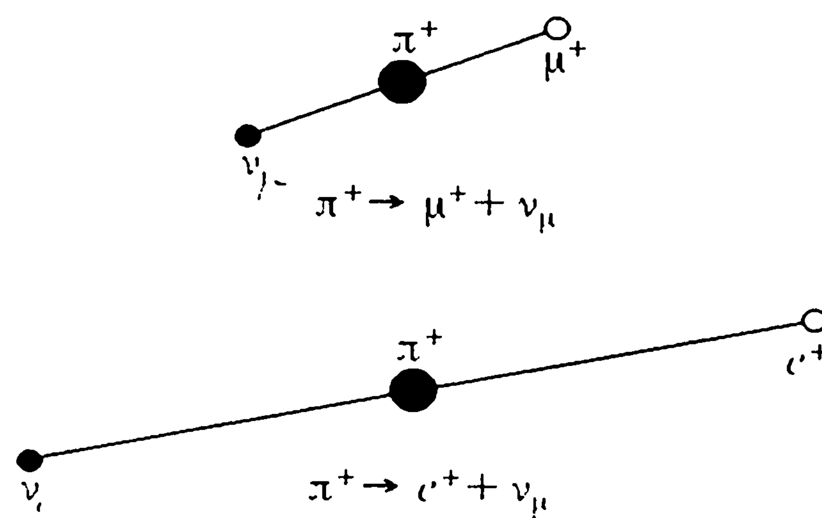
или

$$\tilde{\nu}_\mu + p \rightarrow n + e^+.$$

Если вы помните, процесс

$$\tilde{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$$

был обнаружен при помощи электронных антинейтрино, испускаемых реактором. Отсюда ясно, что исследование приведенных выше реакций послужит однозначной проверкой гипотезы о различии ν_e и ν_μ. Первая реакция будет идти наверняка. Что же касается второй, то она будет наблюдаться, если ν_e и ν_μ — одно и то же, а если ν_e и ν_μ — разные частицы, реакция не произойдет. Иными словами, опыт должен выяснить вопрос о том, могут ли мюонные нейтрино от ускорителя вызывать реакцию с испусканием электронов.



Схемы распада пионов. Процесс с испусканием мюонов в 10 000 раз более вероятен, чем с испусканием электронов

Такой опыт был только что выполнен группой американских физиков, в том числе известными учеными Ледерманом, Шварцем и Штейнбергером, и находился в центре внимания Международной конференции по физике высоких энергий, проходившей в Женеве летом 1962 г. Результат опыта гласил: да, мюонные и электронные нейтрино — разные частицы.

Эксперимент происходил так. Пучок мюонных нейтрино с энергией порядка миллиарда электронвольт от синхрофазотрона, ускоряющего протоны до энергии 15 миллиардов электронвольт, фильтровался через 13-метровую толщу чугуна, поглощающую все другие частицы, кроме нейтрино. Нейтрино, конечно, проникает сквозь эту толщу так же беспрепятственно, как лучи солнца сквозь окошко. Эффекты, вызываемые нейтрино, регистрировались в так называемой искровой камере — приборе, который показывает треки проходящих через него электрически заряженных частиц в виде следов искр. Конечно, в искровой камере регистрировались не сами нейтрино: были зафиксированы заряженные продукты взаимодействия нейтрино с материалом камеры, которая служила «мишенью» для нейтрино. Камера весила 10 тонн, основным ее материалом был алюминий в виде пластин толщиной около 2 сантиметров.

Более 100 тысяч миллиардов мюонных нейтрино прошло через камеру, а зарегистрировано было только 51 взаимодействие. И при этих взаимодействиях образовывались не электроны, а мюоны.

Мы уже убедились раньше, что нейтрино (в частности, мюонное нейтрино) поляризовано и характеризуется определенным знаком «спиральности». Теперь, после этого эксперимента, можно утверждать, что «спиральность» — не единственный заряд мюонного нейтрино. У этой частицы, как и у мюона, есть еще одна

внутренняя характеристика — «мюонный» заряд. На вопрос о том, какова природа этого заряда, пока нельзя ответить.

В настоящее время физики пытаются понять до конца, что означает существование двух нейтрино для теории слабого взаимодействия.

Рассеяние нейтрино на электронах

Прежде чем закончить часть статьи, посвященную роли нейтрино в микромире, следует упомянуть еще об одной нерешенной важной проблеме физики нейтрино. Происходит ли рассеяние нейтрино электронами, т.е. отклоняется ли нейтрино электронами с вероятностью, сравнимой с вероятностью всех других процессов слабого взаимодействия? На этот вопрос теория дает положительный ответ. Однако степень достоверности теории нейтрино пока еще недостаточно высока. Поэтому опыт по обнаружению нейтрино-электронного рассеяния стоит на очереди и в недалеком будущем безусловно будет выполнен, несмотря на очень серьезные трудности, с ним связанные. Этот вопрос крайне важен не только для физики элементарных частиц, но и для астрофизики, о чем речь пойдет ниже.

Нейтрино и звезды

Нейтрино обязательно должно играть роль в явлениях макроскопического масштаба.

Прежде всего необходимо сказать (более подробно мы поговорим об этом ниже), что внутри звезд нейтрино образуются в большом количестве при ядерных превращениях, в частности при бета-распаде разных нестабильных ядер. Заметим, что сомнений в существовании такого испускания нейтрино звездами практически нет, хотя оно еще не обнаружено экспериментально.

Естественно, что нейтрино выходят без всяких затруднений, скажем, из Солнца.

А вот еще один пример макроскопического эффекта. Урановый атомный реактор мощностью в сотни тысяч киловатт «теряет» в виде антинейтрино десятки тысяч киловатт!

Часто встречаются ситуации, когда конкретную количественную роль нейтрино в том или ином явлении нельзя оценить из-за отсутствия сведений о некоторых его свойствах. Например, ответ на такой довольно тонкий вопрос физики элементарных частиц, как существование процесса нейтрино-электронного рассеяния, о котором говорилось выше, имеет далеко идущие астрофизические следствия.

В самом деле, в последние несколько лет было показано, что существование этого явления должно привести к новому механизму интенсивной потери энергии звездами, связанному с испусканием пар нейтрино—антинейтрино. Этот механизм должен иметь место на таких стадиях эволюции звезд, когда их температуры и плотности очень высоки. Оказывается, что «нейтринная» светимость некоторых звезд может намного превышать их «световую» светимость. Однако неизвестно, осуществляется ли этот процесс в действительности.

Во всяком случае, нигде так ясно не проявляется связь между микромиром и космосом, как в физике нейтрино. Недавно родилась новая область науки — нейтринная астрофизика, описывающая многочисленные явления, в которых нейтрино играют первостепенную роль. Нейтринная астрофизика имеет две стороны.

Во-первых, нейтрино участвуют в ряде процессов, происходящих внутри звезд. Поэтому астрофизика, как теоретическая наука, должна учитывать роль «неуловимых» частиц в динамических внутризвездных процессах. Не исключено, что нейтрино будут играть существенную роль и для космогонии.

Во-вторых, нейтрино, испускаемые звездами и вообще исходящие из космического пространства, могут быть зарегистрированы в опытах, выполненных на Земле. Есть надежда, таким образом, получить ценные данные о Вселенной.

Эта сторона нейтринной астрофизики как экспериментальной науки особенно заманчива. Дело в том, что до сих пор нам был доступен практически единственный тип излучения, попадающего на Землю из космического пространства — электромагнитные волны (видимый свет, инфракрасные и ультрафиолетовые лучи, короткие радиоволны). Правда, в последнее время с позиций астрофизики исследуются также космические лучи. Но об этом здесь мы говорить не будем.

Представьте себе, что со временем физики и астрофизики, работая совместно, получат возможность регистрировать интенсивность и энергию нейтрино и антинейтрино, летящих от отдельных небесных объектов и из космического пространства. Тогда в руках исследователей появятся мощные дополнительные способы решения астрофизических проблем. Заметим, в частности, что электромагнитные волны исходят только с поверхностного слоя небесных тел. Регистрация же нейтрино даст возможность «заглянуть» очень глубоко внутрь звезд. Ведь нейтрино легко пронизывают Солнце!

Разумеется, многое из сказанного выше хотя и принципиально возможно, но пока очень далеко от практического осуществления. Однако некоторые вопросы могут быть решены в близком будущем. Сейчас мы остановимся именно на них. Речь будет идти о Солнце.

Солнечные нейтрино

Несмотря на то, что вопрос об образовании нейтрино в звездах остается довольно неясным, все-таки кое-что об этом уже известно. Поток нейтрино от Солнца, например, теоретически вычислен. По порядку величины он равен 10^{10}—10^{11} нейтрино в секунду на квадратный сантиметр поверхности Земли. Перенос энергии на поверхность Земли, связанный с потоком солнечных нейтрино, колоссален. Он составляет несколько процентов от общего солнечного излучения.

Так же определенно можно утверждать, что Солнце испускает именно нейтрино, а не антинейтрино. Это связано с типами ядерных реакций, которые могут происходить в звездах. Как известно, энергия Солнца и других звезд освобождается в так называемых водородных и углеродных циклах, в которых водород превращается в гелий. При этом в виде нейтрино излучается около 5 процентов энергии Солнца.

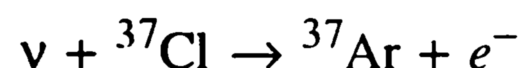
Первостепенный теоретический интерес имеет вопрос, какие именно ядерные реакции происходят в центральной части Солнца?

Нейтрино образуются в разных ядерных реакциях прямым или косвенным образом, причем энергия испускаемых нейтрино зависит от процесса, в котором они родились. Последнее обстоятельство очень важно, так как мы видели, что вероятность взаимодействий (а значит, и возможность регистрации) нейтрино сильно зависит от энергии «неуловимых» частиц. Следовательно, число зарегистрированных нейтрино разных энергий будет давать сведения о том, какие реакции происходят в «глубинах» Солнца.

Кроме того, полное число нейтрино, излучаемых Солнцем, известно пока слишком грубо. Первоочередная задача экспериментальной нейтринной астрофизики — определить с достаточной точностью это число.

Но как можно это сделать?

Мы уже говорили, что каждый квадратный сантиметр поверхности Земли пронизывают ежесекундно десятки миллиардов нейтрино. Огромная величина! И хотя «поймать» даже столь густой поток «неуловимых» частиц все равно очень трудно, задача эта разрешима. Тут приходит на помощь уже знакомая нам реакция — взаимодействие нейтрино с атомным ядром хлора-37. В качестве «мишени» для нейтрино можно использовать несколько тысяч тонн четыреххлористого углерода — вещества дешевого и широко распространенного. Напомним, что реакция



$$\nu + {}^{37}\mathrm{Cl} \rightarrow {}^{37}\mathrm{Ar} + e^-$$

характерна именно для нейтрино, а не для антинейтрино.

Состояние сегодняшней техники таково, что мы можем «ловить» нейтрино, имеющие энергию больше миллиона электронвольт, если поток частиц составляет не меньше 10 миллиардов штук в секунду через каждый квадратный сантиметр.

Нет сомнения в том, что первый шаг экспериментальной нейтринной астрофизики будет сделан в будущем именно при исследовании Солнца.

Нейтрино и антимиры

А теперь давайте пофантазируем — поговорим о менее реальных вещах. Я расскажу о некоторых принципиальных возможностях экспериментальной нейтринной астрофизики. Практические решения здесь еще очень далеки и, быть может, никогда не увидят свет.

После того как будут зарегистрированы нейтринные потоки от Солнца, необходимо будет сделать следующий шаг — измерить нейтринные потоки из космического пространства (мы уже видели, насколько важна эта задача) и от отдельных галактик. Для этого нужно увеличить чувствительность современных методов регистрации больше чем в миллион раз. Поэтому я не буду останавливаться подробно на этих вопросах, а проиллюстрирую только одну принципиальную возможность, которая открывается перед нейтринной астрофизикой. Это решение проблемы антимиров — миров, целиком построенных из античастиц.

Могут ли наблюдения с Земли сказать нам, существуют ли антимиры? Пусть мы видим какое-то небесное тело и хотим узнать, из вещества или из антивещества оно построено. Наблюдение света и вообще электромагнитных волн никак не может дать ответа на этот вопрос. Свет, испускаемый, скажем, атомом водорода, тождествен свету, испускаемому атомом антиводорода. Ведь фотоны — истинно нейтральные частицы: они не имеют никаких зарядов и не отличаются от своих античастиц.

А как обстоит дело с нейтринным излучением? Мы уже видели, что Солнце испускает нейтрино, а не антинейтрино. Это же относится и к любым звездам, где основной источник энергии — термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Теперь представьте себе «антисолнце», внутренние процессы которого аналогичны солнечным. Это значит, что источником энергии там служит превращение антиводорода в антигелий. Такие антисолнца дадут свет, неотличимый от света нашего Солнца. Однако они будут испускать антинейтрино, а не нейтрино. Можно представить себе, какие перспективы открываются перед нейтринной астрономией.

Нейтринные «телескопы»

Правда, надо предостеречь вас от слишком оптимистического представления о возможности решения изложенных вопросов. Дело не только в том, что речь идет о крайне малой интенсивности нейтрино и антинейтрино. Самая большая трудность связана с тем, что неизвестно, как создать эффективный нейтринный телескоп.

Нейтринных линз нет. Для того чтобы утверждать, что нейтринное излучение приходит от определенного небесного тела, необходимо измерить угловое распределение продуктов расщепления, вызванных нейтрино. Но оказывается, что в случае нейтрино с энергией несколько миллионов электронвольт или меньше это угловое распределение по отношению к направлению падающего пучка очень нечувствительно. Эта трудность так велика, что неизвестно, будет ли задача когда-нибудь решена. Но сама принципиальная возможность ее решения достаточно интересна.

Задача построения нейтринного телескопа значительно упрощается для нейтрино высокой энергии, превышающей миллиард электронвольт. В таком случае заряженные продукты, образующиеся при взаимодействии нейтрино с ядрами, сохраняют направление налетающих нейтрино, а это позволяет создать телескоп для «неуловимых» частиц высоких энергий. Таким телескопом может служить установка, помещенная на большую глубину и регистрирующая мюоны, которые рождаются в реакциях типа



$$\nu + \text{ядро} \to \mu + \text{ядро}.$$

Подземная установка, по предположению М.А.Маркова, может выделять мюоны, образованные нейтрино, исходящими из нижней полусферы, т.е. проходящими сквозь всю Землю! Это возможно, конечно, так как длина свободного пробега нейтрино несравнимо больше диаметра Земли.

Подводя итоги, можно сказать, что существуют два аспекта физики нейтрино.

С одной стороны, исследование нейтрино как элементарной частицы имеет первостепенное значение для построения теории слабых взаимодействий элементарных частиц, почетным представителем которых нейтрино и является.

С другой стороны, нейтрино, без сомнения, играет важнейшую роль в астрофизике и, быть может, в космогонии. Экспериментальная нейтринная астрофизика — почти еще не рожденная наука, первоочередная задача которой состоит в регистрации нейтрино, исходящих от Солнца.

Эти два аспекта, конечно, очень тесно связаны между собой. Некоторые макроскопические явления, в которых участвуют нейтрино, можно будет рассчитать только тогда, когда будут лучше известны некоторые фундаментальные свойства нейтрино как элементарной частицы.

Исследования нейтрино требуют усилий больших коллективов и очень много средств. Но проблема вызывает настолько большой интерес, что уже сейчас ей занимаются в разных лабораториях многих стран мира.

Воспоминания Бруно Понтекорво

ЭНРИКО ФЕРМИ*

Великий итальянский физик Энрико Ферми занимает особое место среди современных ученых: в наше время, когда узкая специализация в научных исследованиях стала типичной, трудно указать столь же универсального физика, каким был Ферми. Можно даже сказать, что появление на научной арене XX столетия человека, который внес такой громадный вклад в развитие и теоретической физики, и экспериментальной физики, и астрофизики, и технической физики, — явление скорее уникальное, нежели редкое.

Юность

Ферми родился в Риме 29 сентября 1901 года в семье простого служащего. Если можно говорить о врожденном призвании, то, несомненно, Ферми был рожден физиком. Хотя в семье никто не побуждал его к занятиям наукой, Ферми еще мальчиком проявил исключительный интерес к математике и физике. Интеллектуальное развитие мальчика, ставшего впоследствии гениальным ученым, представляет большой интерес, и я хотел бы подробнее остановиться на этом.

Неизвестно точно, когда впервые у Ферми появился интерес к науке, но мы располагаем некоторыми фактами благодаря свидетельствам Энрико Персико [1,2], профессора физики в Римском университете и близкого друга Ферми с того времени, когда им было по 14 лет, его жены, Лауры Ферми [3], и ряда его сотрудников и друзей, особенно Франко Разетти [4] и Эмилио Сегре [5], с которыми Ферми делился воспоминаниями. Сегре [5], например, рассказывает о следующем эпизоде: когда Ферми было только десять лет, он сумел понять, почему окружность описывается уравнением $x^2 + y^2 = R^2$, хотя это и потребовало от него напряженного интеллектуального усилия.

Позже тринадцатилетнему Ферми очень помог найти правильную дорогу в научном лабиринте инженер Амидей, друг семьи Ферми, который по праву может гордиться тем, что, обнаружив исключительные способности Ферми, оказал на него большое, а может быть, и решающее влияние. Инженер Амидей был очень аккуратным человеком. Когда после смерти Ферми Сегре попросил Амидея рассказать о первых шагах Энрико в науке, он сумел привести (41 год спустя!) крайне точные и ценные для истории науки сведения, позволяющие понять некоторые важные элементы в формировании титанической личности Ферми. Ниже почти

*Предисловие к книге Ферми Э Научные труды — М · Наука, 1971, т.1, с 19—45

полностью приводится письмо инженера Амидея профессору Сегре, рассказывающее о периоде жизни Ферми от осени 1914 г. до осени 1918 г.

«Ливорно
25 ноября 1958 г.

... В 1914 г. я занимал должность старшего инспектора в Министерстве железных дорог. Вместе со мной работал главный инспектор Альберто Ферми. После работы мы обычно возвращались домой вместе. Почти всегда нас сопровождал Энрико Ферми — сын моего коллеги. Мальчик постоянно встречал отца после работы. Узнав, что я серьезно занимаюсь математикой и физикой, Энрико стал задавать мне вопросы. В то время ему было 13 лет, а мне 37.

Хорошо помню его первый вопрос*:

— *Правда ли, что существует раздел геометрии, в котором важные геометрические свойства выявляются без использования представлений о мере?*

Я ответил, что это совершенно справедливо и что раздел этот называется проективной геометрией.

— *Но каким образом эти свойства используются на практике топографами или инженерами?* — спросил он.

Этот вопрос показался мне совершенно резонным. Рассказав мальчику о некоторых свойствах, находящих успешное применение, я пообещал ему принести на следующий день — что и сделал — книгу по проективной геометрии.

Через несколько дней Энрико сказал мне, что он уже проштудировал первые три лекции, и обещал возвратить книгу, как только прочтет ее. Примерно через два месяца книга была возвращена. На мой вопрос, встретились ли ему какие-либо трудности, мальчик ответил: "*Никаких*" и добавил, что он доказал все теоремы и легко решил все задачи (в книге их было более 200).

Я был очень удивлен и захотел убедиться в том, что Энрико смог решить и те из них, которые, как я помнил, показались мне довольно трудными и от решения которых я отказался, потому что на это ушло бы слишком много времени. Но я убедился, что Энрико справился с этими задачами. Было совершенно очевидно, что в свободные часы, остававшиеся от приготовления школьных заданий, мальчик в совершенстве изучил проективную геометрию и с легкостью решал сложнейшие задачи.

Я убедился в том, что Энрико исключительно одарен, во всяком случае, в области геометрии. Когда я сказал об этом его отцу, тот ответил, что в школе Энрико считается хорошим учеником, но не более.

Впоследствии я узнал, что Энрико изучал математику и физику по случайным книгам, которые он покупал в букинистических магазинах на рынке Кампо деи Фьори. Он надеялся, в частности, найти в этих книгах теорию, объясняющую движение волчков и гироскопов. Объяснения он так и не нашел. Но, возвращаясь к этой проблеме снова и снова, мальчик самостоятель-

*По словам Амидея, выделенные в этом письме фразы Ферми-мальчика были дословно записаны им во время беседы.

но приблизился к разъяснению природы загадочного движения волчка. Я высказал мысль, что к точному научному объяснению можно подойти, лишь овладев теоретической механикой. Но для ее изучения потребуется знание тригонометрии, алгебры, аналитической геометрии и дифференциального исчисления.... Энрико согласился со мной, и я стал доставать для него книги, которые, как мне казалось, могли бы дать ему ясные идеи и прочную математическую основу.

Приведу перечень книг, которые он брал у меня в тот период:

в 1914 г. — «Курс прямолинейной и сферической тригонометрии» Сэрре;

в 1915 г. — «Курс алгебраического анализа» Чезаро и «Лекции по аналитической геометрии» Л.Бианки (Пизанский университет);

в 1916 г. — по математическому анализу «Лекции, прочитанные в Пизанском университете» У.Дини;

в 1917 г. — по теоретической механике «Трактат по механике» Пуассона.

Кроме того, я считал, что ему будет полезно проштудировать книгу Г.Грассмана по математической логике с предисловием Дж.Пеано о применении дедуктивной логики. Эти книги он получил от меня в 1918 году ...

Энрико нашел векторный анализ очень интересным, полезным и несложным. С сентября 1917 г. до июля 1918 г. он изучил также некоторые стороны инженерного дела по книгам, которые я доставал для него.

В июле 1918 г., пройдя трехгодичный курс лицея за два года, Энрико получил диплом. Встал вопрос, имеет ли ему смысл поступать в Римский университет. Мы с Энрико вели на эту тему длинные разговоры.

Я спросил у него, чему он хочет посвятить себя: математике или физике? Привожу дословно его ответ:

— *Я изучал математику с таким рвением потому, что считал это необходимой подготовкой для последующего изучения физики, которой я намерен посвятить себя целиком и полностью.*

Тогда я спросил у него, считает ли он свое знание физики столь же обширным и глубоким, как и математики.

— *Я знаю физику шире и глубже, потому что прочел все наиболее известные книги по этому предмету,* — ответил он*.

Я уже убедился в том, что Энрико достаточно было прочесть книгу один раз, чтобы знать ее в совершенстве. Помню, например, как однажды он возвратил мне прочитанную им книгу по дифференциальному исчислению. Я предложил ему оставить ее у себя еще на один год с тем, чтобы он смог еще пользоваться ею. Ответ Ферми был поразительным.

— *Благодарю Вас,* — сказал он, — *в этом нет необходимости, поскольку я уверен, что запомнил все нужное мне. Несколько лет спустя идеи предста-*

*По словам Э.Персико, одной из этих книг был многотомный курс Хвольсона; мне помнится, что сам Ферми как-то сказал, что основные сведения в области общей и экспериментальной физики он почерпнул именно из этого курса. — *Б П.*

ют передо мной с еще большей отчетливостью, и если мне понадобится формула, я смогу легко вывести ее.

Кроме поразительной способности к наукам, Ферми обладал еще исключительной памятью.

Пришло время, когда я решил, что наступил подходящий момент, чтобы предложить ему свой план... План этот заключался в следующем. Энрико должен поступить не в Римский университет, а в университет в Пизе. До этого ему надо будет выдержать конкурс в Нормальную школу в Пизе и впоследствии совмещать занятия в Школе с посещением лекций в университете. Энрико признал разумность моего плана и решил следовать ему, хотя и понимал, что родители будут возражать.

Я немедленно отправился в Пизу, чтобы получить там необходимую информацию и программу для конкурса в Нормальную школу. Потом я вернулся в Рим, чтобы проштудировать программу с Энрико. Я не сомневался в том, что он в совершенстве знает предметы, связанные с математикой и физикой. Так оно и оказалось. Энрико не только выдержал конкурс, но оказался первым среди соискателей.

Родители Энрико не одобрили мой план по вполне понятным человеческим соображениям.

— Мы потеряли Джулио (старший брат Энрико, умерший в 1915 г. после непродолжительной болезни), — сказали они, — а теперь мы должны расстаться с Энрико на четыре года, в то время как в Риме существует великолепный университет. Правильно ли это?

Потребовалось известное терпение и такт, чтобы постепенно убедить их в том, что принесенная ими жертва откроет блестящую карьеру их сыну. В конце концов было получено их согласие. Итак, как писала жена Энрико в своей книге "Атомы у нас дома", "в конечном счете, два союзника — Ферми и Амидей — одержали победу"».

Хотелось бы немного прокомментировать это письмо. Мне кажется, что оно должно заинтересовать не только физиков и историков науки, но и более широкие круги читателей, особенно школьников, которые начинают увлекаться наукой, а также педагогов. Быть может, благодаря инженеру Амидею одаренный мальчик и стал гением. Конечно, Ферми был прирожденным физиком, но кто может сказать, какова была бы его судьба, если бы инженер Амидей отнесся к нему иначе, если бы на вопросы мальчика он отвечал, например, так: «Это пока слишком трудно для тебя. Подрастешь — поймешь!» Возможно, Ферми и не увлекся бы так серьезно математикой и физикой в тринадцатилетнем возрасте и в результате стал бы, скажем, лишь хорошим инженером или физиком. Он мог бы, например, влюбиться, мог заинтересоваться шахматами или теннисом, иностранными языками или геологией. Дело в том, что перед тринадцатилетним Ферми был только один прямой путь, который мог бы привести его туда, куда он впоследствии пришел (и этот путь был указан Амидеем), но при этом было огромное число «боковых» дорог. Во всяком случае, я совершенно уверен в том, что Ферми стал великим Ферми именно потому, что его интересы определились и его интел-

лектуальные запросы уже удовлетворялись, когда он был еще мальчиком. В этом меня убеждал стиль Ферми во всем, что относилось к физике: читал ли он лекции, объяснял ли что-либо сотруднику, выражал ли сомнение в чем-то и т.д. — всегда создавалось впечатление, что все ему просто и знакомо, что физика для него то же, что дом родной.

Если мое суждение правильно, то число потенциальных Ферми в мире куда больше, чем это обычно представляется.

Вот что писал Э.Персико [1]:

«Исключительные способности Ферми в точных науках проявились очень рано; когда я познакомился с ним (ему было 14 лет), я с удивлением обнаружил, что приятель у меня не только "дока" в науке, как говорят на школьном жаргоне, но и товарищ, форма ума которого совершенно отличается от типичной для всех "умных" мальчиков и блестящих учеников, с которыми я был знаком... В области математики и физики он проявил знания по гораздо большему числу разделов, чем мы учили в школе, причем знания были не школярскими, и он оперировал ими совершенно непринужденно. Для него уже тогда знание теоремы или закона означало прежде всего умение их использовать.

Вспоминая чувства восхищения и удивления, которые у меня, его ровесника, вызывал ум Энрико, я задаю себе вопрос: приходило ли мне в то время на ум слово "гений"? Вероятно, нет, поскольку для детей и, быть может, даже для большинства взрослых это слово ассоциируется не столько с качеством ума, сколько с общеизвестной фигурой знаменитой и недоступной личности. Качества ума моего молодого друга, которые удивляли меня, были для меня явлением слишком новым для того, чтобы я мог найти им имя».

Вероятно, читателя заинтересует вопрос, как учился Ферми в школе по гуманитарным предметам? Конечно, он был хорошим учеником, что не удивительно, если учесть наличие у него прекрасной памяти; но, опираясь на некоторые, впрочем, субъективные впечатления, я сказал бы, что по гуманитарным предметам Ферми был не более чем «нормальным отличником». Правда, он знал довольно много стихов наизусть*, но это, я бы сказал, характеризует скорее его феноменальную память, чем страсть к поэзии. Мне помнится, где-то в 30-х годах Ферми сказал, что главным источником его общей культуры является многотомная итальянская «Детская энциклопедия» («Enciclopedia dei ragazzi»), довольно удачная и красочно оформленная книга для юношества. Это подтверждает, что интересы Ферми вне физики и математики были все-таки довольно ограниченными.

Память Ферми и рациональность мышления очень помогли ему при овладении иностранными языками. Энрико прекрасно знал немецкий язык, который он изучил еще мальчиком по совету инженера Амидея, французским и английским языками он владел более чем достаточно для понимания научной литературы. Позже, в США, Ферми, конечно, овладел английским языком в совершенстве, но не избавился от итальянского акцента, что определенно его огорчало.

Еще несколько слов об использовании иностранных языков в научных работах Ферми. В итальянский период жизни Ферми, естественно, писал статьи на

---

*Больше всего ему нравилась поэма «Неистовый Орландо» Ариосто Небезынтересно заметить, что Ариосто был любимым поэтом другого великого итальянского физика — Галилея

итальянском языке. Но некоторые работы он написал также на хорошо знакомом ему немецком языке (до 1934 г.). Это были те произведения, которые он особенно ценил, что и дает представление об отношении самого Ферми к значимости своих работ. После упадка немецкой физики, связанного с приходом к власти Гитлера, немецкий язык в произведениях Ферми сменился английским. Когда же он эмигрировал в США, он стал писать только на английском языке.

Университетские годы

Осенью 1918 г. Ферми, согласно плану инженера Амидея, поступил одновременно в Высшую нормальную школу Пизы и на физико-математический факультет старинного Пизанского университета. Во всех итальянских университетах нет вступительных экзаменов; нужно лишь иметь аттестат зрелости и, конечно, располагать средствами для оплаты обучения. Для поступления же в Нормальную школу требовалось выдержать довольно трудный конкурс, но для ученика Школы обучение в университете было бесплатным. Ученик Нормальной школы автоматически является и студентом университета, но дополнительно посещает лекции и семинары в Школе. (Может быть, небезынтересно заметить, что с 1965 г. директором Пизанской нормальной школы является известный ученый Джильберто Бернардини.)

Высшая нормальная школа в Пизе была создана в 1813 г. Наполеоном по типу Высшей нормальной школы в Париже; в то время она была единственным бесплатным высшим учебным заведением Италии. Хотя официально Школа предназначалась для выпуска учителей средних школ, многие выпускники как гуманитарного, так и естественного отделения избирали карьеру исследователей и становились знаменитыми, что поднимало престиж Школы. В частности, почти все известные итальянские математики от Бианки и Кастельнуово до Вольтерра и Леви-Чивиты были ее выпускниками.

На конкурсном экзамене при поступлении в Школу от Ферми требовалось изложить свои знания по теме «Характер и причины звуков». Его сочинение, первая страница которого приводится на с.101, дает представление об уровне знаний по классической физике, достигнутом Ферми в семнадцатилетнем возрасте. Достаточно сказать, что далеко не все выпускники физических факультетов университетов (а не только средней школы) смогли бы написать такое сочинение, в котором используется метод Фурье при решении дифференциального уравнения колеблющегося стержня. Ферми сам рассказывал, что экзаменатор был удивлен его сочинением и сказал, что никогда ничего подобного в своей практике не встречал.

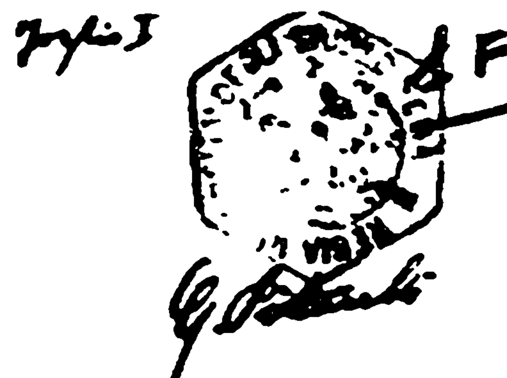
14 ноября 1918 г.
Энрико Ферми

ФИЗИКА

Характерные свойства звука и его причины

Звук представляет собой, как известно, быстрые колебания частиц воздуха, которые движутся под влиянием вибрирующих тел, находящихся в нем, а также под влиянием любого

Foglio I



F

14 Novembre 1918
Enrico Fermi

Fisica

Caratteri distintivi dei suoni e loro cause.

Il suono consiste, come è noto, in rapide vibrazioni delle particelle d'aria che vengono messe in movimento dai corpi vibranti in esse immersi, sia da qualunque perturbazione che possa fra di esse avvenire. Per poter quindi studiare completamente i caratteri dei suoni occorre che fermiamo dapprima la nostra attenzione sulle seguenti questioni. Come vibrano i corpi? Come l'aria trasmette le loro vibrazioni?

Per rispondere alla prima questione mi limiterò a trattare un caso particolare, le vibrazioni trasversali di una verga elastica incastrata a una estremità e perfettamente libera all'altra. Supporremo inoltre la verga omogenea cilindrica e le vibrazioni piccolissime e piane. Prenderemo la posizione di riposo della verga per asse delle x e il punto di incastro per centro delle coordinate. Se con y indichiamo lo spostamento del punto di ascissa x al tempo t, le vibrazioni essendo piccolissime, si ha l'equazione

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0 \qquad (1)$$

dove per brevità ho posto $a^2 = \frac{EI}{m}$ m essendo la massa per unità di lunghezza, E il modulo di elasticità della verga ed I il momento d'inerzia della sua sezione. Poniamo

$$y = u_1 \operatorname{sen} k_1 t + u_2 \operatorname{sen} k_2 t + \dots = \sum u \operatorname{sen} kt$$

dove $u_1, u_2 \dots$ sono funzioni della sola x e le k sono costanti per ora indeterminate. Si ha

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\sum k^2 u \operatorname{sen} kt \qquad \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \sum \frac{d^4 u}{d x^4} \operatorname{sen} kt$$

Sostituendo in (1) si vede che perchè essa sia verificata occorre che le u soddisfino l'equazione.

Первая страница экзаменационной работы, написанной Ферми при поступлении в Высшую нормальную школу в Пизе

его возмущения, которое могло бы произойти. Поэтому, чтобы полностью изучить характеристики звука, нам следует обратить внимание прежде всего на следующие вопросы: как вибрируют тела? как воздух передает их колебания?

Чтобы ответить на первый вопрос, я ограничусь рассмотрением частного случая поперечных колебаний упругого стержня, закрепленного с одной стороны и совершенно свободного с другой.

Предположим еще, что этот стержень — однородный и прямой, а его колебания — малые и плоские. Положение стержня в покое примем в качестве оси x, а точку, где он закреплен, — за начало координат. Если через y обозначить смещение точки с абсциссой x в момент времени t, то, поскольку колебания являются малыми, имеет место уравнение

$$\partial^2 y + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \qquad (1)$$

где для краткости я положил $a^2 = EI/m$, m — масса единицы длины стержня, E — модуль упругости стержня и I — момент инерции его сечения. Положим

$$y = u_1 \sin k_1 t + k_2 \sin k_2 t + \ldots = \Sigma\, u \sin kt,$$

где u_1, u_2, ... — функции только x, а k — пока неопределенные константы. Имеем

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\sum k^2 u \sin kt, \qquad \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \sum \frac{d^4 u}{dx^4} \sin kt.$$

Подставив эти выражения в (1), увидим, что для его выполнения необходимо, чтобы u удовлетворяли уравнению

$$a^2 \frac{d^4 u}{dx^4} = k^2 u,$$

интеграл которого есть

$$u = C_1 e^{\sqrt{k/a}\,x} + C_2 e^{-\sqrt{k/a}\,x} + C_3 \sin \sqrt{k/a}\,x + C_4 \cos \sqrt{k/a}\,x,$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 — произвольные постоянные.

Заметим теперь, что поскольку стержень закреплен в точке $x = 0$, то для $x = 0$ и при любом t должно быть $y = 0$, $\partial y/\partial x = 0$ и поэтому также $u = 0$, $du/dx = 0$. Кроме того, на свободном конце, соответствующем $x = l$, имеется $\partial^2 y/\partial x^2 = \partial^3 y/\partial x^3 = 0$ и поэтому $d^2u/dx^2 = d^3u/dx^3 = 0$.

Таким образом,

$$\begin{array}{lllll} C_1 & + C_2 & & + C_4 & = 0, \\ C_1 & - C_2 & + C_3 & & = 0, \\ C_1 e^{\omega} & + C_2 e^{-\omega} & - C_3 \sin\omega & - C_4 \cos\omega & = 0, \\ C_1 e^{\omega} & - C_2 e^{-\omega} & - C_3 \cos\omega & + C_4 \sin\omega & = 0, \end{array}$$

где для краткости положено $\omega = l\sqrt{k/a}$.

Итак, когда Ферми был принят в Пизанский университет в 1918 г., он уже был хорошо знаком с классической физикой. Насколько глубокими были его знания в этой области науки в то время, можно судить по словам, сказанным уже знаменитым Ферми в 1934 г.: «Когда я поступил в университет, классическую физику и теорию относительности я знал почти так же, как и теперь». Юношей Ферми был самоучкой. Но и в университете профессора не смогли дать ему ничего нового: уже в то время он разбирался в физических проблемах лучше своих

учителей. Кроме того, как раз те области, которые интересовали Ферми, особенно строение материи и квантовая теория, в Италии не культивировались, соответствующих университетских курсов не было. Как ни парадоксально, но Ферми стал учителем, и при этом блестящим, никогда не проходя через психологическую стадию ученика.

Большую пользу, по-видимому, принесло Ферми общение с талантливым однокурсником Франко Разетти; совместное обсуждение вопросов физики, особенно теоретической, помогло развитию проявившихся впоследствии исключительных дидактических способностей Ферми. Нет сомнения и в некотором прямом влиянии Разетти на Ферми. Для меня более десяти лет спустя стало ясным из разговоров в Физическом институте университета, что талант Разетти-экспериментатора и его любовь к различным экспериментальным методам импонировали Ферми.

Исключительные способности Ферми-студента были довольно широко известны в Пизе не только в среде его товарищей и друзей, но также и в коллективе профессоров и преподавателей университета и Нормальной школы.

Почти все сведения об университетском периоде получены от Персико и Разетти. Студенческие обязанности, конечно, не представляли никакой трудности для Ферми. Поэтому большую часть времени он отводил на изучение предметов, им выбранных, а не обязательных университетских курсов. Вот что он написал Персико [1] в феврале 1919 г., т.е. будучи студентом второго курса: «...Поскольку для курсов мне почти ничего не надо делать, я пытаюсь расширить мои знания математической физики и буду делать то же самое в области математики; ведь я располагаю множеством книг».

Когда Ферми, двадцать лет спустя, уехал в Америку, он взял с собой все документы и тетради, которые впоследствии могли быть ему полезны. Они находятся теперь в музее Ферми при Чикагском университете. Среди них имеется тетрадь, которую он вел с июля по сентябрь 1919 г. и содержание которой представляет большой интерес для понимания уровня научного развития восемнадцатилетнего Ферми. Ниже дается описание содержания этой тетрадки со слов Э.Сегре [5].

«Первые 28 страниц содержат конспект аналитической динамики и начаты в Каорсо 12 июля 1919 г. Здесь он излагает теорию Гамильтона и Якоби, затрагивая очень сложные вопросы крайне сжато и столь же ясно. Тут нет сведений об источниках его информации, но, по-видимому, ими являются работы Пуанкаре, которыми он занимался в то время, а также Аппеля.

Далее следуют 25 страниц об электронной теории вещества (начаты в Риме 29 июля 1919 г.), содержащие сжатый, как обычно, обзор по этому предмету. Здесь идет речь о лоренцевской теории, специальной теории относительности, теории излучения черного тела, диамагнетизме и парамагнетизме. Для этого раздела имеется библиография, в которой перечислены некоторые из самых важных книг по данному предмету, включая "Электронную теорию материи" Ричардсона, которую он очень внимательно изучил. Упоминаются также первые работы Бора об атоме водорода, хотя в то время они были малоизвестны в Италии.

На следующих 19 страницах (Рим, 10 августа 1919 г.) более подробно рассмотрена планковская теория излучения черного тела. За этим следует без ком-

ментариев обширная библиография (Каорсо, сентябрь 1919 г.) по радиоактивности, взятая из книги Резерфорда "Радиоактивные вещества и их излучения". Следующая глава, со страницы 81 до страницы 90 (Каорсо, 14 сентября 1919 г.), посвящена *H*-теореме Больцмана и кинетической теории. Здесь мы находим, как обычно, сжатое, но ясное изложение теории и некоторых ее применений. Для установления *H*-теоремы используется метод Больцмана, в котором проводится подробный анализ всех возможных соударений. Тетрадка, содержащая всего 102 страницы, заключается двумя библиографиями (из книги Таунсенда о газовом разряде) по электрическим свойствам газов и фотоэлектричеству. Последние страницы, написанные в Риме 29 сентября 1919 г., заканчиваются оглавлением.

Содержание тетрадки свидетельствует о многих чертах автора. Если учесть возраст автора и тот факт, что он был самоучкой, то восхищает степень его разборчивости в выборе материала. Характерно и то, что Ферми, никогда не боявшийся математических трудностей, все-таки не ставит самоцелью поиск "красивой" математики. Легка или трудна теория — это не главное; важно то, освещает ли она существенное физическое содержание проблемы. Если теория легка — прекрасно, но если необходима трудная математика, он быстро смиряется с этим. Можно заметить также определенное различие между главами, где логическая структура предмета преобладает над его экспериментальным содержанием, и главами более эмпирического характера. В первых уже видна рука мастера, во вторых проявляется отсутствие опыта, а также критической оценки различных работ.

Удивительно, что только после одного года университетской работы студент сумел составить такую тетрадку, которая сделала бы честь и опытному преподавателю».

В 1920 г. Ферми написал Персико: «...Мои занятия идут очень хорошо, ибо я уже сдал неорганическую химию и решил изучить органическую химию в университете». По-видимому, химия тогда не была самым предпочитаемым предметом Ферми, и этим письмом он дает понять, что не собирается особенно расширять свои знания по химии, а просто будет готовиться к экзаменам по химии в университете. Кстати, единственными экзаменами, на которых Ферми не был удостоен высшей оценки, были экзамены по химии. В первые два года занятий в университете Ферми изучил, как известно из его переписки с Персико, следующие книги: «Теория вихрей» Пуанкаре, «Аналитическая механика» Аппеля, «Теоретическая химия» Нернста, «Курс общей химии» Оствальда, «Электронная теория материи» Ричардсона, «Пространство, время, материя» Вейля.

В 1920 г. он сообщает Персико, что уже завоевывает некоторый престиж в Физическом институте, где он в присутствии ряда профессоров должен читать лекцию о квантовой теории, тогда практически неизвестной в Италии. Как побочный результат, по словам Персико [1], его напряженного изучения физики в университетские годы, появились первые теоретические исследования Ферми в области электродинамики и теории относительности. На две из них (статьи 3 и 4)* до сих пор ссылаются специалисты. Вот как Персико характеризует отношение

*Сохранена нумерация статей Энрико Ферми, приводимых в издании: Ферми Э Научные труды — М Наука, 1971

двадцатилетнего Ферми к прорабатываемой им книге: «Его метод изучения книги всегда состоял в том, что из книги он брал только данные проблемы и результаты опыта, сам обрабатывал их и затем сравнивал свои результаты с результатами автора. Иногда при проведении такой работы он ставил новые проблемы и решал их или даже поправлял ошибочные, хотя и общепринятые решения. Так и возникли его первые печатные работы».

Темой работы Ферми на соискание степени доктора физики (что соответствует в СССР студенческой дипломной работе), однако, явилось экспериментальное* исследование по оптике рентгеновских лучей (статья 6). Я не буду останавливаться на ней, потому что в написанных Ф.Разетти вводных замечаниях читатель может найти много интересного относительно жизни Ферми в лаборатории в те годы и самой его дипломной работы.

Здесь стоит отметить, что знания, полученные Ферми во время выполнения диплома, не пропали даром и что его тогдашнее глубокое ознакомление с физикой кристаллов очень помогло ему в теоретических исследованиях по оптическим свойствам молекул и кристаллов десять лет спустя и в теоретических и экспериментальных исследованиях в области созданной им оптики нейтронов двадцать лет спустя.

Диплом Ферми получил (июль 1922 г.), конечно, с оценкой «cum laude»; диплом Нормальной школы он получил приблизительно в то же время и с такой же оценкой, выполнив работу по теории вероятности (статья 30).

Первые годы после университета

Хотя Ферми пользовался огромным престижем в Пизанском университете, все-таки там ему не предложили работы. Это больше говорит об удивительной бедности итальянских университетов того времени, нежели о недальновидности дирекции физического факультета Пизанского университета.

Энрико возвращается домой в Рим и знакомится с сенатором профессором Орсо Марио Корбино, директором Физического института Римского Королевского университета. Корбино когда-то был первоклассным физиком-экспериментатором, однако с 20-х годов почти не занимался наукой и стал видной фигурой в частной электрической промышленности Италии, а также в течение некоторого времени занимал посты министра экономики и министра образования, хотя и не был членом фашистской партии. Корбино была присуща некоторая двойственность: с одной стороны — политическая карьера, бизнес и деньги, с другой — лаборатория, интересы итальянской физики, словом, все, что напоминало ему о его молодости. Ферми, а затем и его сотрудники видели в Корбино прежде всего только эту вторую, привлекательную сторону. Кроме того, он был яркой личностью: исключительно обаятельный, полный юмора и, по крайней мере, по представлениям Ферми, очень мудрый.

*Согласно традициям итальянских университетов, требовалось, чтобы подобная работа была именно экспериментальной.

Корбино очень быстро «сориентировался» и понял, что представляет собой этот двадцатилетний юноша. С этого времени он стал покровительствовать Ферми. Корбино не только предложил ему временную работу в качестве преподавателя математики для студентов-химиков в Римском университете, но, что было важнее, сказал Ферми о своем намерении при первой возможности обеспечить для университета постоянное сотрудничество Энрико. Знакомство с сенатором имело большое значение для Ферми, который считал его вторым отцом; признательность Ферми отражена в написанном им некрологе (статья 75).

Необходимо подчеркнуть, что дружеское отношение такой влиятельной фигуры, как Корбино, к Ферми, его бескорыстная поддержка Ферми в создании молодой школы итальянских физиков в Риме, неизменное содействие этой школе, его искренняя радость ее успехам — все это оказало огромное влияние на итальянскую физику, без сомнения превышающее его прямой исследовательский вклад. На шутливом религиозном жаргоне Римского физического института Корбино получил «официальное» произвище «Бога-отца».

В Риме Ферми провел несколько месяцев. Вскоре он был удостоен премии Министерства образования для усовершенствования за границей и с января по август 1923 г. пробыл в Германии, в Геттингене, у известного физика-теоретика, впоследствии лауреата Нобелевской премии, Макса Борна.

В геттингенский период Ферми опубликовал, по-прежнему в одиночку, цикл работ по теоретической механике. Одна из них (статья 11) — доказательство, правда, нестрогое, квазиэргодичности механических систем — понравилась П.Эренфесту, известному специалисту в этой области. Эренфест написал Ферми об этом, что, по-видимому, явилось причиной того, что Энрико вскоре поехал именно в Лейден, к Эренфесту. Но об этом позже.

У Борна Ферми встретился с такими блестящими молодыми физиками-теоретиками, как Паули, Гейзенберг и Йордан, которым, в отличие от Ферми, посчастливилось учиться у выдающихся ученых — Зоммерфельда и Борна. Как ни странно, пребывание в Геттингене и встреча с этими звездами физического мира не принесли, по словам Ферми, особенной пользы молодому самоучке. Его работы, выполненные в Геттингене, никак не отражают местного духа и могли бы быть выполнены Ферми в Риме, если бы он там остался. Это связано с рядом причин.

Вокруг Ферми в Италии не было физиков, с которыми бы он мог общаться на равном уровне и с которыми он, по его словам, мог бы сравнивать себя (что очень важно с психологической точки зрения); у него возникла привычка работать, полагаясь только на себя и используя лишь книги и научные работы для консультации. (Эта привычка, однако, вскоре исчезла.) Но это не все.

Двадцатилетний Ферми еще не обладал той уверенностью в себе, которая так необходима для творческой работы. Как рассказывал сам Ферми, он, наконец, обрел такую уверенность благодаря выдающемуся физику-теоретику П.Эренфесту, на обучении у которого в Лейдене, в Голландии, он находился с сентября по декабрь 1924 г. Советским физикам П.Эренфест очень хорошо известен, так как он часто бывал в Советском Союзе. Ферми рассказывал своим сотрудникам, что Эренфест оказал огромное влияние на развитие современной физики не столько своими классическими работами, сколько педагогической в широком смысле сло-

ва деятельностью, т.е. научным воздействием на других физиков. (Кстати, аналогичные слова произнес Ферми и о выдающемся французском физике Поле Ланжевене.) Эренфест был хорошо знаком и дружил со всеми крупнейшими физиками — от Бора, Эйнштейна, Лоренца и Планка до Гейзенберга и Паули. И вот Эренфест, обнаружив у Ферми дар крупного физика, не замедлил сказать ему об этом. С этого времени неуверенность Ферми в своих силах исчезла, что, как это известно от самого Ферми, было очень важно для него. Прямое влияние лейденского периода на Ферми, однако, незначительно, хотя тематика, которая тогда представляла интерес в Голландии, отражена в статье 20.

К началу 20-х годов относится и одна теоретическая работа, которая обнаруживает черты уже зрелого Ферми (статья 19). Я хочу упомянуть о ней здесь, так как многие физики не знают, что именно в этой работе Энрико Ферми заложена в очень ясной форме красивая идея, использованная позже Вейцзеккером и Вильямсом в их знаменитом методе (речь идет о методе эквивалентных фотонов, т.е. о расчете различных эффектов при соударениях очень быстрых электрически заряженных частиц, основанном на замене поля частиц эквивалентным полем электромагнитного излучения).

По своей натуре Ферми был застенчив. Правда, это утверждение покажется необоснованным тем, кто узнал Ферми после его двадцатипятилетия и притом только по его отношению к физике. Ферми был слишком искренним и непосредственным, чтобы проявлять ложную скромность после того, как он внутренне осознал свое превосходство.

Застенчивость можно было заметить у Ферми и позже, но уже не в науке. Он очень не любил чем-то выделяться. Лаура Ферми в книге «Атомы у нас дома» рассказывает о случае, когда Ферми страшно смутил рабочий, случайно заставший его в довольно смешной одежде итальянского академика. Очень типичной была его виноватая, детская улыбка, появлявшаяся, правда, довольно редко, когда по какой-то причине у него вновь исчезала уверенность в себе, скажем, в присутствии Майораны, личность которого ему очень импонировала, или на теннисной площадке перед более сильным игроком.

Ферми всегда стремился к конкретности во всем, к упрощению, выделению главного. На этой черте характера Ферми, быть может, самой характерной, я остановлюсь несколько ниже, пока же я хотел согласиться с Сегре [5], что в условиях научной изоляции, о которой я говорил раньше, конкретность была необходима для Ферми, поскольку оценить важность своей работы он мог только с помощью результатов не слишком отвлеченного характера.

Во всяком случае в 20-х годах, когда основные принципы физики претерпевали коренную ломку (и Геттинген был одним из центров, где это происходило), ориентироваться молодому Ферми без учителей, по-видимому, было крайне трудно. Почти все труды Ферми характеризуются отсутствием абстрактности. Его теории почти без исключения созданы для того, чтобы объяснить, скажем, поведение определенной экспериментальной кривой, «странности» данного экспериментального факта и т.д. Не исключено, что черты, присущие Ферми, — конкретность, ненависть к неясности, исключительный здравый смысл, — помогая ему в создании многих фундаментальных теорий, в то же время в этих условиях помешали

ему прийти к таким теориям и принципам, как квантовая механика, соотношение неопределенностей и принцип Паули.

Некоторое подтверждение этому можно найти в очень интересном отрывке из письма, которое Ферми написал Персико [2] в сентябре 1925 г., спустя два года после его пребывания в Геттингене: «...Я думаю, что в последние несколько месяцев очень больших успехов не было, несмотря на формальные результаты в зоологии спектральных термов, полученные Гейзенбергом. По-моему, они начинают слишком далеко заходить в направлении отказа от понимания физической сущности». Вот как Персико [2] комментирует это письмо: «"Зоология спектральных термов", по-видимому, относится к работе В.Гейзенберга (Zeits. f. Phys., 1925, vol.32, p.842), которая, правда, была тогда неудовлетворительной и формалистической, но спустя несколько месяцев эволюционировала в матричную квантовую механику. К квантовой механике в матричной форме, однако, Ферми не испытывал, по-видимому, научной симпатии. Первые его работы по квантовой механике были стимулированы не гейзенберговским подходом, а статьями Шредингера по волновой механике; при этом вклад Ферми состоял в том, что он выяснил соотношение между волновой механикой и старой корпускулярной механикой».

По словам Ферми, сказанным им в 30-х годах, из-за абстрактности общей теории относительности он также не испытывал большой симпатии к ней (хотя глубоко знал ее, см. статьи 1—4 и 7), и особенно к ее космологическому следствию — теории расширения Вселенной. Правда, в конце 40-х годов он пересмотрел свою точку зрения, по-видимому, в связи с увеличением круга наблюдений, связанных с теорией расширения Вселенной; его интерес к этой теории отражен в работах о происхождении химических элементов (см. приложение 1 и книгу Э.Ферми «Лекции по атомной физике»).

Здесь я сразу же должен предупредить читателя, у которого может возникнуть подозрение, что прохладное отношение Ферми к абстрактным и вообще формалистическим работам как-то вызвано недостаточным его знакомством с математическим аппаратом: он никогда не боялся математических трудностей и глубоко знал математику. С математическими методами Ферми ознакомился, как мы видели, будучи еще мальчиком. В Пизе он расширил свои математические знания до такой степени, что впоследствии мог при необходимости подходить к решению задачи самыми рафинированными методами.

С первых дней по возвращении в Рим он познакомился с представителями блестящей математической итальянской школы — Энрикуезом, Кастельнуово, Леви-Чивитой, Вольтеррой — и с тех пор подружился с ними. Они уважали его не только как единственного представителя зародившейся итальянской школы теоретической физики, но очень ценили его и как математика. Однако отношение Ферми к математике было особенным. Математика для него была средством, а не целью. Он возражал против использования изысканных или сложных математических методов для решения второстепенных или «надуманных» физических задач. Один раз он сказал: «Математика сегодня — это не передовая наука времен Гаусса; слишком часто сегодня математик или физик с математическим складом ума выдумывает трудную задачу, решает ее, а потом восклицает: "Смотри, какой я умный!"».

Сразу скажу, что это отношение к математике как к великой науке, уже не способной существенно обновляться, изменилось у Ферми позже, и особенно после его знакомства с крупнейшим математиком фон Нейманом, которым он восхищался.

Во всех работах Ферми математический аппарат вполне адекватен решаемой задаче; при этом он всегда избегал излишнего формализма, но, если это требовалось, был готов использовать самые изысканные методы. Ради простоты он часто удовлетворялся достаточно грубым приближением. Хорошим примером этого служит его оценка граничных условий на поверхности раздела между веществом и вакуумом для задачи диффузии тепловых нейтронов. Ферми показал (статья 74), что полученная на основе решения одномерной задачи простая оценка может, после небольшой модификации, дать достаточно точный результат и для реального случая трехмерной диффузии нейтронов. Этот вопрос имел большое значение для нейтронной физики в период создания атомной техники, так что силы больших научных коллективов были сконцентрированы на точном решении данной задачи. Это оказалось довольно сложным математическим делом; к тому же в практически важных случаях точное решение очень мало отличалось от результата Ферми. Не перестаешь удивляться тому, как легко все у него получалось!

Здесь уместно упомянуть о симпатии, которую Ферми всегда испытывал к любой форме численных методов решения математических задач. Забегая вперед, я хотел бы сказать несколько слов о его «вычислительной карьере». В кабинете Ферми стояла маленькая настольная механическая счетная машинка. В 1927 г. он, не сумев найти общее решение установленного им дифференциального уравнения для среднего потенциала атома в зависимости от расстояния (статья 35), быстро решил его численно с помощью этой машинки. Работа такими кустарными вычислительными методами, хотя иногда и в широком масштабе (статья 59), продолжалась вплоть до появления первых мощных электронных вычислительных машин, значение которых сразу же стало ему понятно. Ферми с вдохновением и энтузиазмом воспринял рождение электронной вычислительной техники; немногие знают, что он — первый физик, который использовал мощные электронные вычислительные машины для своей повседневной работы. Он пропагандировал использование этих машин самими физиками, без математиков, и сам был великолепным программистом. Для читателя-физика небезынтересно отметить, что Ферми уже в 1952 г. предложил использовать вычислительные машины для автоматизации измерений на фотоэмульсиях и фотографиях.

Университетская карьера

С января 1925 г. до осени 1926 г. Ферми пробыл во Флоренции, куда он был назначен «Professore incaricato» (временным профессором) с обязанностью чтения лекций по теоретической механике и по математической физике (курса теоретической физики в итальянских университетах тогда не было). Здесь я хотел заметить, что университетская карьера в Италии — в то время единственный путь для исследователя, поскольку в промышленности физики не использовались —

завершалась выигрышем конкурса на право занятия штатной должности профессора. Все промежуточные назначения (ассистент, помощник, временный профессор) или звания («Libero Docente») не только плохо оплачивались, но и не давали ни прочности положения, ни престижа.

В возрасте 24 лет (а это необычайно рано) Ферми получил звание «Libero Docente». Это соответствует советской степени кандидата наук, но для соискания «Libera Docenza», однако, не требуется защиты диссертации; степень присваивается на основе совокупности научных работ комиссией штатных профессоров университета, которые оценивают представленные научные работы и заслушивают лекцию соискателя по теме, предложенной комиссией за 24 часа до лекции. Получение «Libera Docenza» для молодого Ферми, уже опытного преподавателя, не представляло ни малейшей трудности.

Флорентийский период был очень важным в жизни Ферми. Во Флоренции он снова встречает Разетти, который был там ассистентом кафедры, и совместно с ним проводит весьма интересные эксперименты (статьи 23 и 24).

Но самое главное — это то, что именно здесь, в спокойной атмосфере Института физики, расположенного вблизи Флоренции, на холме, где работал и скончался Галилей, Ферми создает и публикует знаменитую работу (статья 25) о статистической механике частиц, подчиняющихся принципу Паули. Этой работой были заложены основы так называемой статистики Ферми—Дирака. Как известно, основное значение статистики Ферми—Дирака заключается в том, что она дала ключ к пониманию свойств электронов в металлах. Но и другие применения статистики Ферми весьма многочисленны, что иллюстрируется множеством терминов, вошедших в физическую и астрофизическую литературу, таких, как «газ Ферми», «ферми-жидкость», «фермион», «поверхность Ферми», «метод Томаса—Ферми», «фермиевские импульсы нуклона в ядре» и т.д. В отличие от Дирака, Ферми пришел к новой статистике независимо от квантовой механики. Он давно вынашивал предпосылки этого творения (статья 17), но ему не хватало принципа Паули, после появления которого он сразу направил свою работу в печать. Кстати, Ферми заметно переживал то, что он не сумел сформулировать принцип Паули, к которому, как я слышал от него самого, очень близко подошел.

После открытия статистики, которая носит его имя, Ферми стал хорошо известен сначала, как это ни странно, за пределами Италии и только потом — на родине. Признания, которых он совершенно не искал, посыпались на Ферми в изобилии. В конце своей жизни Ферми был членом восемнадцати академий, доктором «honoris causa» многочисленных университетов, лауреатом ряда крупнейших премий и медалей, включая Нобелевскую премию. Кстати, в 1929 г. он был избран иностранным членом Академии наук СССР, что, если я не ошибаюсь, явилось первым зарубежным официальным признанием Ферми.

Из переписки Ферми с Персико известно, что Ферми все-таки беспокоился о своей университетской карьере до тех пор, пока не был назначен штатным профессором осенью 1926 г. В частности, его огорчило, что в начале 1926 г. ему не удалось пройти по конкурсу на кафедру математической физики Университета г.Кальяри, в Сардинии. Должность профессора для Ферми означала способ спокойно продолжать научную работу, но не больше. До конца жизни он никогда не

искал ни важных административных постов, ни почета, ни наград. Он, естественно, был доволен признанием его заслуг, но честолюбие ему было чуждо.

Я хотел бы сделать здесь некоторые замечания о том, как, по моим субъективным впечатлениям, мне представляется отношение Ферми к жизни. Ему очень нравилась физика; при этом, особенно после пребывания в Лейдене, он почувствовал, что миссия исследователя и наставника ему по силам. В сравнении с этой любовью и этой миссией все остальное для Ферми имело второстепенное значение. Иногда сознательно, но чаще всего бессознательно, его отношение к научной карьере, спорту, отдыху, семье, литературе и искусству и даже к политике определялось тем, что он должен иметь самые лучшие условия для работы. Я сказал бы, что в жизни Ферми все происходило так, как будто некие «гормоны» так управляли его чувствами и образом жизни, чтобы автоматически обеспечить оптимальные условия для научных исследований. Он был гением, причем его гениальность в значительной степени связана с его любовью к научной простоте; вне области физики он был самым обыкновенным и, как ни странно, самым простым человеком. Эта простота в жизни выражалась в том, что у него были очень простые вкусы и требования, что он ненавидел усложнения (как в физике!), что он был лишен снобизма и фальши, что он был всегда совершенно искренен и не скрывал тех черт своего характера, которые многим могут казаться недостатками (например, нелюбовь к музыке, полное отсутствие азартности, безразличие к политическим и философским проблемам, некоторая осторожность при трате денег). Кстати, деньги были необходимы Ферми для спокойной научной работы, а не для «роскошной» жизни. Ферми очень любил теннис, лыжи, прогулки, хотя ни в одном виде спорта он не достиг высокого уровня. Но время, которое он тратил на эти увлечения и вообще на отдых, было строго ограничено до минимума.

Неудача Ферми в Кальяри все-таки сделала доброе дело. Сразу после создания новой статистики Корбино предпринял действия, направленные на приглашение Ферми в Римский университет. Он добился учреждения там кафедры теоретической физики — первой в Италии. (Насмешники называли ее «кафедрой фермифизики», так же как они называли «кафедрой разеттифизики» кафедру спектроскопии, созданную некоторое время спустя в Римском университете по инициативе того же Корбино с целью привлечь Разетти в университет.) Осенью 1926 г. Ферми выдержал соответствующий конкурс и занял должность профессора в Риме. Итак, его научная карьера в Италии достигла вершины, когда ему было 25 лет.

Создание итальянской школы физики

Когда Ферми в конце 1926 г. прочно обосновался в Риме в качестве профессора теоретической физики, там не было никакого исследовательского коллектива. Персико уехал во Флоренцию; Корбино был слишком занят другими вопросами, а в университете ему более чем хватало преподавательской деятельности.

Итальянскую школу современной физики создал тогда Энрико Ферми, один из великих учителей нашего времени, при содействии Орсо Марио Корбино, бле-

стящего организатора науки. Многие из учеников Ферми, такие, как Разетти, Амальди, Сегре, Вик, Рака, Росси, Фано, Ферретти, Бернардини, Коккони, Конверси, Пиччиони и другие стали широко известными физиками.

О неизгладимом следе, оставленном Ферми в научной жизни Италии, можно судить по тому, что в настоящее время, через тридцать лет после того, как он покинул свою родину, там успешно работает многочисленная группа довольно известных физиков (первого, второго и последующих поколений), продолжающих традиции современных первоклассных теоретических и экспериментальных исследований, созданных Ферми. Ядро этой школы (Разетти, Сегре, Майорана, Амальди) сформировалось вокруг Ферми уже в 1927 г. благодаря усилиям Корбино.

Вот как Сегре [5] описывает занятия, не связанные с университетскими курсами, которые Ферми проводил с ними.

«Они были совершенно импровизированными и неофициальными. Поздно вечером мы собирались в кабинете Ферми, и часто предмет разговора становился темой лекции. Например, мы спрашивали: "Что известно о капиллярности?" И Ферми экспромтом читал красивую лекцию о теории капиллярности. Таким образом мы занимались рядом предметов на "промежуточном" уровне, соответствующем, например, знаменитой книге "Введение в теоретическую физику" Планка или книгам Слетера и Франка. Однако иногда уровень становился более высоким, и Ферми объяснял нам статью, которую сам только что прочел; так мы познакомились со знаменитой работой Шредингера по волновой механике. Эти лекции никогда не образовывали какого-то регулярного курса. Относительно некоторых областей, о которых мы ничего не знали и по которым мы задавали Ферми вопросы, он ограничивался упоминанием хороших книг ... Однако книги, которые он предлагал, не всегда были самыми удачными, поскольку, очевидно, он упоминал те, которые изучил сам, а они не обязательно были хороши с педагогической точки зрения...

Занятия были посвящены главным образом теоретической физике, но между слушателями теоретиками и экспериментаторами не делалось различий. Сам Ферми, который работал тогда только в области теоретической физики, также интересовался экспериментальными работами. Его знания и интересы охватывали всю физику, и он внимательно прочитывал несколько журналов. Он предпочитал конкретные проблемы и недоверчиво относился к слишком абстрактным или общим теориям. Но любая специфическая задача в какой-либо области физики — в классической механике, спектроскопии, термодинамике, теории твердого тела и т.д. — могла увлечь его, бросив вызов его уму и физической интуиции. Часто, разговаривая с ним, мы видели развитие красивого, простого и ясного объяснения загадочного явления.

В то время много раз нам представлялся случай быть свидетелями зарождения и выполнения нового и оригинального исследования. Конечно, невозможно было сказать, какая предварительная работа уже была выполнена Ферми сознательно или подсознательно. Наверняка у него не было ничего написанного. Мы присутствовали при развитии теории, которое происходило не слишком быстро, но практически без ошибок, неправильных начинаний или изменений направления мысли. Ферми как будто читал лекцию, только медленнее, и в конце ее наши

записи (или, по крайней мере, соответствующие уравнения) были готовы для опубликования почти без переделок. Любопытная характеристика фермиевского способа работы состояла в *постоянстве* скорости, с которой он продвигался вперед. Если переходы были легкими, он все-таки продвигался медленно, и рядовой наблюдатель мог бы задать вопрос: "Почему он теряет так много времени на такую простую алгебру?" Однако, когда возникали такие трудности, которые остановили бы человека меньших способностей бог знает на сколько времени, Ферми решал их с той же скоростью. У нас создалось впечатление, что Ферми — каток, двигающийся медленно, но не знающий препятствий. Окончательные результаты были всегда ясными, и часто мы задавались вопросом: "Почему это не было найдено давно, раз все так просто и ясно?". Ферми навсегда сохранял в памяти один раз использованный им метод и применял его к задачам, совершенно отличающимся от той, которая породила физическую идею и математическую технику...

Скорость формирования молодого физика в этой школе была невероятной...

Ферми не любил давать темы для дипломных работ или вообще для исследований. Он ожидал, что студенты сами найдут их или получат от старших товарищей. Причина этого, как он сам говорил, состояла в том, что ему было нелегко найти достаточно простые темы для начинающих... Крепкая, многолетняя дружба связывала всех участников этой группы. Разница в возрасте была невелика: самому старшему, Ферми, было 26 лет (в 1927 г.), а самому младшему, Амальди, — 19 лет. Корбино на вечерние занятия приходил редко. Однако он очень интересовался положением в группе, вопросами продвижения сотрудников по служебной лестнице и т.п. Как можно было ожидать, слухи о том, что происходит в Риме, быстро распространились среди молодых итальянских физиков, и скоро к нам стали приезжать Дж.Джентиле, Б.Росси, Дж.Бернардини, Дж.Рака, Дж.Вик, У.Фано и многие другие».

Впервые в этом столетии, благодаря Ферми, иностранные физики потянулись к итальянскому центру исследований. Эти физики, среди которых были Баба, Бете, Блох, Лондон, Пайерлс, Плачек, Теллер, Уленбек, принимали участие в семинарах Института физики вместе с небольшой группой итальянских ученых и студентов; число участников семинара не превышало десяти.

Среди участников семинара я хотел бы отметить Этторе Майорану, личность которого могла бы заинтересовать не только физиков, но и литераторов. По происхождению Майорана принадлежал к знатной сицилианской семье; он учился на инженерном факультете Римского университета. В 1927 г. Майорана, тогда еще студент, стал членом неофициальной группы Ферми; впрочем, он продолжал работать в институте, не получая жалования, и после получения диплома (он был богатым, а институт — бедным; по-моему, не исключено, что судьба Майораны сложилась бы не так трагично, если бы ему приходилось зарабатывать себе на хлеб). Спустя некоторое время после вступления в группу Ферми, Майорана уже облада.. такой эрудицией и находился на таком уровне понимания физики, что разговаривал с Ферми на научные темы на равных. Сам Ферми считал его крупнейшим физиком-теоретиком нашего времени, часто им восхищался, а иногда и тушевался перед ним. Я точно помню слова Ферми: «Если задача уже поставлена, никто в мире не может решить ее лучше Майораны». Майорана был пессимистом

по натуре, вечно был недоволен собой (и не только собой!). На семинарах он обычно молчал, но иногда нарушал молчание ради саркастического комментария или для того, чтобы сделать парадоксальное, хотя и очень существенное замечание. Я помню, как не раз на семинарах он терроризировал известных зарубежных физиков. Когда-то он был вундеркиндом. Это был математик большого масштаба и в то же время, как ни странно, живая «счетная машина». В «религиозной иерархии» института он имел звание «великого инквизитора». Трудно представить более различные характеры, чем у Ферми и у Майораны. Если Ферми был совершенно простым человеком (с маленькой оговоркой: он был гений), то характер Майораны был сложным и совсем не тривиальным. К великому сожалению Ферми, Майорана почти никогда не публиковал своих работ; его след в науке бесконечно менее значителен, чем мог бы быть. Начиная с 1932 г. Майорана все реже и реже встречался с другими физиками и в 1937 г. буквально исчез. По-видимому, он покончил с собой, но абсолютной уверенности в этом нет.

Семинары Ферми проходили в непринужденной обстановке и всегда много давали их участникам. Ферми был прирожденным учителем. Он не только мастерски проводил семинары и неофициальные лекции в узком кругу, о чем речь шла выше, но также блестяще читал курсы лекций студентам. Его лекции в университете по квантовой механике, атомной физике, математической физике, термодинамике и его любимый курс по геофизике отличались большой ясностью и стройностью изложения; это, однако, не было результатом особо тщательной подготовки к лекциям (Ферми почти никогда не готовился к ним), а объяснялось глубокими знаниями и исключительной ясностью его ума. В конечном счете качество лекций являлось отражением его самостоятельной работы, проведенной еще школьником, когда он пытался осознать и понять различные явления природы. Но были лекции, к которым Ферми тщательно готовился, как о том подробнее говорится во вводных замечаниях Янга к статье 124.

В физике, по мнению Ферми, нет места для путаных мыслей, и физическая сущность любого действительно понимаемого вопроса может быть объяснена без помощи сложных формул. Правильность такого мнения иллюстрировалась замечательной способностью Ферми быть понятным слушателям самого различного уровня. Часто он утверждал, что *действительно* понимающие природу того или иного явления должны уметь получать основные законы из соображений размерности.

Ферми всегда подчеркивал огромную важность для студентов хорошей подготовки по классической физике, и он сам любил читать лекции по элементарной физике. Общий курс математической физики, прочитанный Ферми в Риме, представлял собой нечто вроде энциклопедии, содержавшей элементы электродинамики, теории относительности, теории упругости, теории теплопроводности и диффузии. Он очень возражал против курсов математической физики, посвященных чрезмерно узким проблемам. Мне помнится, как однажды он полусерьезно излагал группе сотрудников свои идеи о том, как следует реформировать высшее образование в университетах. «Возьмем, — сказал он, — для примера коллектив, скажем, из двадцати студентов-однокурсников, которому при настоящих порядках следует слушать лекции по пяти различным предметам у пяти преподавателей.

Это не рационально; гораздо целесообразнее была бы “система менторов”, согласно которой каждый из пяти преподавателей возьмется за преподавание только четырем студентам всех пяти предметов». Мы возражали Ферми, что это будет хорошо только для тех четырех студентов, которые попадут в руки Энрико, а для других будет настоящая трагедия!

Невозможно провести грань между Ферми-физиком и Ферми-человеком. Своих студентов и сотрудников Ферми учил не только физике в прямом смысле этого слова. Собственным примером он учил их страстно любить физику, равно как и понимать дух и этику науки. Ферми упорно подчеркивал исключительную моральную ответственность ученого при опубликовании научной работы. В опубликованных работах Ферми обнаруживается почти педантичное внимание к точности выражений, в них не встретишь излишне категоричных утверждений и т.д. Но его совершенно не заботила элегантность стиля и формы статей: для него важнее всего было содержание работы и ясность изложения.

Ферми нетерпимо относился к часто встречающейся тенденции экспериментаторов переоценивать точность своих измерений. В институте было известно «правило», которым руководствовался Ферми в отношении к новому или «странному» результату: увеличь втрое приведенную экспериментатором ошибку измерения и только тогда начинай свое рассуждение.

Несмотря на его оригинальность и интуитивное чутье нового, Ферми был того мнения, что в науке новые законы надо принимать только в том случае, когда нет иного выхода. Ему очень не нравилось стремление некоторых физиков найти «сверхновое», не исчерпав всех возможностей в рамках уже существующих принципов и законов. Если у читателя создалось впечатление, что Ферми был консерватором в науке, то я плохо рассказал о нем. Речь идет не о консервативности подхода Ферми, а о его фундаментальности. Что же касается его подхода к жизни, политике, искусству и т.д., то действительно было бы правильно назвать его консерватором.

Ферми глубоко презирал научный авантюризм, субъективизм в науке, тенденцию некоторых экспериментаторов получить именно те результаты, которые априори им хочется найти. Он считал совершенно антинаучной и вредной для развития физики поспешность в опубликовании научных работ, вызванную желанием завоевать приоритет, и встречающуюся в некоторых лабораториях атмосферу «охоты за открытиями». Я помню такой случай в 30-х годах. В одной статье, по мнению Ферми, совсем неубедительной (вследствие нечеткости постановки опыта и недоброкачественности самих измерений), группа иностранных физиков опубликовала сообщение об обнаружении дифракции медленных нейтронов. Несколько позже в печати появилось описание безупречных экспериментов другой зарубежной группы по этому вопросу; Ферми был возмущен тем, что приоритет в какой-то мере будет принадлежать первой группе, которая его не заслуживает. «И самое печальное, — сказал он, — то, что против этой системы ничего нельзя предпринять». Более того, по мнению Ферми, совершенно недостойной является привычка некоторых ученых при опубликовании своих экспериментальных работ «между прочим» приводить ненадежные данные (с надеждой завоевать приоритет) и не считать для себя позором, если кто-либо опровергнет эти данные. Он презирал также саморекламу в науке.

Пленительная ясность мысли, характерная для лекций Ферми, относится также к его книгам (Ферми написал их более десяти) и статьям — не только оригинальным, о чем шла речь выше, но и обзорным и популярным. Некоторые его книги хорошо известны в Советском Союзе. Однако двухтомный «Курс физики для средних школ» (1929 г.) и «Введение в атомную физику» (1928 г.) в СССР почти неизвестны.

Ферми писал свои книги так же, как и читал лекции, — предельно ясно и, казалось, с минимальным усилием. В студенческие годы мне довелось видеть рукопись (мы занимались по ней) его книги «Молекулы и кристаллы», когда автор еще работал над ней. Каждое утро, между 6 и 8 часами, Ферми аккуратно писал на нечетных страницах тетради, оставляя четные страницы для возможных поправок. Однако когда рукопись книги была готова к печати, число поправок оказалось совершенно ничтожным.

Удивляло также то, что Ферми мог писать, почти не прибегая к другим статьям или книгам. Кстати, однажды это привело к неожиданному результату, в связи с которым друзья Ферми долго подсмеивались над ним. В написанной Ферми книге по физике для средних школ итальянского физика XVII столетия Эванжелиста Торричелли он перекрестил в Джиованбаттиста Торричелли (а знаменитых итальянских физиков не так уж много).

Вообще Ферми мало читал, а тем более мало покупал книг по физике после окончания университета; он предпочитал самостоятельно разработать заинтересовавший его вопрос, нежели найти готовый ответ. Ферми также проводил сравнительно мало времени за научными журналами, хотя он всегда был великолепно осведомлен о происходящем в мире физики. Это достигалось «вытягиванием», по выражению самого Ферми, сведений в непосредственном разговоре с другими физиками. Вспоминается случай [6], иллюстрирующий еще одну характерную для Ферми черту — способность давать советы специалистам, работающим в других, даже малознакомых ему узких областях. В 1942 г. мне довелось встретиться с Ферми в Чикаго. В то время я работал в области применения ядерной физики к разведке месторождений нефти (нейтронный и гамма-каротаж). Поскольку Ферми не был знаком с этим методом, он начал «вытягивать» сведения из меня. Вскоре он уже сам давал мне советы и высказывал многочисленные идеи, послужившие основой для дальнейшей длительной работы в этой области.

Научная деятельность в Риме

Кипучая теоретическая деятельность Ферми со времени опубликования работы по статистике (1926 г.) до конца 1933 г., когда он начал работать в области ядерной физики, шла по трем главным направлениям.

Во-первых, Ферми в течение нескольких лет осваивал квантовую механику (а затем квантовую электродинамику), успешно объяснял (статьи 29, 31, 34) и страстно пропагандировал ее в научных кругах. Его «проповеди» пользовались громадным успехом у молодежи и ничтожным — у ученых старшего поколения (в частности, у группы выдающихся римских математиков), которые не сумели при-

нять революционного духа новой теории. Эту его деятельность в период с 1926 по 1930 г. лучше охарактеризовать словами ее очевидца, Э.Сегре.

«Первыми были поняты статьи Шредингера, которые вызвали большой интерес и энтузиазм. Ферми быстро объяснил их своим друзьям, позже — Корбино, который оставался скептиком некоторое время; еще позже он выступил на эту тему на математическом семинаре, где профессиональные математики старшего поколения, не очень хорошо знакомые с экспериментальными основами физики, выдвинули несколько остроумных возражений против общепринятой интерпретации квантовой механики.

Так, например, статья 43 возникла из обсуждения, в котором многочисленные вопросы поднял профессор Кастельнуово. Ферми был склонен к нетерпимости по отношению к людям, не принимавшим нового развития квантовой механики, но, конечно, он относился по-разному к некомпетентным возражениям, которых было много, и к действительным трудностям, вроде тех, на которые было указано Кастельнуово.

Нередко он сожалел, что даже те люди, к которым он испытывал уважение и которыми восхищался, такие, как Корбино, иногда проявляли скептицизм по отношению к квантовой механике и ее интерпретации, что являлось, как он думал, результатом недостаточного понимания. (Однако следует сказать, что в последние годы своей жизни Ферми был менее убежден в том, что обычная интепретация квантовой механики является последним словом.) Сопротивление квантовой теории оказывало в основном старшее поколение физиков, поскольку молодые физики либо поняли новую теорию, либо поверили в нее, либо научились использовать ее, даже не полностью разобравшись в ней.

Приход квантовой механики, по мнению Ферми, а также Корбино, означал. завершение атомной физики. Фундаментальные вопросы были решены, будущее находилось в области ядерной физики и в исследовании сложных биологических структур».

Я хотел бы несколько дополнить последние слова Сегре. Когда я приехал в Рим в 1931 г., Ферми часто утверждал (полусерьезно), что физика идет к концу (как и география) в том смысле, что скоро все будет ясно. Он думал, что будущее принадлежит генетике. При этом сам читал с большим интересом и рекомендовал сотрудникам книгу «Наука о жизни» Уэллса, Хаксли и Уэллса. Как ни странно, эти идеи о бесперспективности физики были у Ферми в 1931—1932 гг., на заре невиданного скачка современной физики, которому он сам значительно способствовал.

К деятельности Ферми в выяснении основ новой физики следует особенно отнести его переформулировку квантовой электродинамики (статья 48), которая представляет собой блестящий (и типичный для Ферми) пример ясной трактовки трудного вопроса.

Второе важное направление теоретической деятельности данного периода состояло в продолжении его работ по статистической механике. В 1928 г. он (независимо от Томаса) применил свою статистику к определению среднего электрического потенциала в атоме (метод Томаса—Ферми, статьи 35—37).

Наконец (Last but not least!), своими теоретическими работами Ферми внес неоценимый вклад в учение о структуре атомов и молекул. Особо следует упомянуть о совокупности теоретических работ по структуре молекул, в которых Ферми дает количественное объяснение различных экспериментальных наблюдений (книга «Молекулы и кристаллы»). Эти проблемы, интересовавшие Ферми в 1931—1933 гг., были связаны с основными экспериментальными исследованиями Института, который по традиции, и особенно благодаря Разетти, в основном был первоклассной спектроскопической лабораторией.

В статьях 42 и 54 Ферми разрабатывает количественную теорию сверхтонкой структуры спектральных линий, оставляя и в этой области физики неизгладимый след. Кстати, уже тогда в течение нескольких лет Ферми был того мнения, что Институт должен заняться ядерной физикой. Исследование сверхтонкой структуры спектральных линий, обусловленной, согласно Паули, взаимодействием орбитального движения электрона с магнитным моментом ядра, явилось естественным «мостом» при переходе интересов Ферми и лаборатории в целом от атомных проблем к ядерным.

В качестве «дебюта» в области чисто ядерной физики Ферми опубликовал в 1934 г. свою известную теорию бета-распада (статья 58) — классическую работу, основанную на гипотезе Паули о том, что в бета-процессе одновременно с электроном испускается нейтрино. Имеющая сама по себе большое значение, эта работа явилась и прототипом современных теорий взаимодействия элементарных частиц. Ферми направил эту работу в английский журнал «Nature» для срочного опубликования в «Письмах в редакцию». Это означало, что он сам вполне осознавал значение данной теории, в создании которой ему очень помогло близкое знакомство с дираковской теорией излучения. Однако редакция «Nature» отказала ему в опубликовании работы на том основании, что она слишком абстрактна и не представляет интереса для читателей. Это была действительно самая абстрактная из теоретических работ Ферми; но не приходится сомневаться в том, что редактор всю жизнь сожалел о своем «диагнозе». В настоящее время считают, что найденное Ферми взаимодействие между нуклонным полем и полем пары электрон — нейтрино представляет собой частный случай более общего взаимодействия между любыми четырьмя фермионами — так называемого универсального фермиевского взаимодействия, крайне малая интенсивность которого определяется малым значением «константы Ферми».

Несмотря на то, что исследовательская деятельность Ферми до 1934 г. носила почти исключительно теоретический характер, скрытый экспериментатор изредка пробуждался в нем. Был, например, такой случай. Ферми получил корректуру своей книги «Молекулы и кристаллы»; один из снимков, на котором было изображено чередование интенсивностей в молекулярном спектре азота, не удовлетворил автора книги. Ферми немедленно нашел подходящий свободный спектрограф и сам изготовил хороший снимок.

Первые крупные экспериментальные работы Ферми выполнил в области ядерной физики (1934 г.). Этим работам, за которые Ферми получил Нобелевскую премию, предшествовали два события: поездка Разетти в Германию с целью изучения экспериментальных методов ядерной физики и обсуждение на семинаре

Института под руководством Ферми классической книги Резерфорда по радиоактивности.

Сразу же после открытия Фредериком и Ирэн Жолио-Кюри явления искусственной радиоактивности Ферми пришел к выводу, что нейтроны, поскольку они не имеют заряда, должны быть особенно эффективным орудием получения радиоэлементов, и со свойственной ему энергией начал систематически облучать нейтронами почти все существующие элементы. Нет необходимости напоминать здесь о всех поразительных результатах экспериментов Ферми: получение более шестидесяти радиоактивных изотопов; открытие замедления нейтронов и большой вероятности их захвата в таких элементах, как кадмий и бор; открытие «групп» нейтронов и т.д. Подробная история этого изумительного путешествия Ферми в неизвестную область физики рассказана во вводных замечаниях к статьям 61—74. Все эти блестящие и совершенно неожиданные открытия были опубликованы в виде коротких сообщений в итальянском журнале «Ricerca Scientifica», превратившемся благодаря Ферми из совершенно неизвестного издания в журнал международного значения. Только за год лаборатория спектроскопии выросла в первоклассную, хотя и маленькую, лабораторию ядерной физики.

Римская лаборатория была действительно маленькой. Общее число научных сотрудников и механиков, работавших с Ферми, едва достигало десяти. Ежегодно с дипломом физика университет оканчивали один-два студента, несмотря на то, что на физико-математическом факультете профессорами были Ферми, Разетти, Вольтерра, Леви-Чивита. Малое число выпускников объяснялось незавидными перспективами, открывавшимся тогда перед молодыми физиками в Италии.

Что касается средств, необходимых для исследовательских работ, то фашистское правительство, так щедро помогавшее крупным промышленникам, оказалось довольно скупым, когда речь шла о финансировании науки. Однажды с целью экономии средств Ферми решил, что стандартные электрические вилки следует изготовлять в лабораторной мастерской; он провел два дня с механиком, стараясь найти удобный способ их изготовления, но после этого ему пришлось оставить свое предложение, как ... неэкономичное.

Кстати, затраты на нейтронные исследования Ферми и сотрудников в Риме были удивительно малыми. Кроме зарплаты физиков и ничтожной официальной дотации Института на оборудование и материалы для всех нейтронных работ, была получена субсидия (около 1000 долларов) от Национального совета по исследованиям.

Участие Ферми в качестве исполнителя в экспериментальных работах было всегда непосредственным; он не только руководил, но и любил работать своими собственными руками. В частности, Ферми был неплохим стеклодувом.

Непосредственное и повседневное участие Ферми в работе, руководимой им, было возможно только потому, что он упорно отказывался занимать административные должности. Немногие знают, что он никогда не был во главе лабораторий, в которых работал.

Ферми в лаборатории всегда сохранял неизменное спокойствие. Говорили, что в 1942 г., когда первый ядерный реактор, построенный им, приближался к критическим условиям, Ферми прервал общее напряжение известной фразой:

«Пойдем обедать». Почти за десять лет до этого случая, когда в Римском институте физики случайно, хотя и не без фермиевской интуиции, было обнаружено, что водородсодержащие вещества вызывают увеличение уровня активации при облучении нейтронами, Ферми охладил пыл своих сотрудников той же фразой: «Пойдем обедать». К концу обеда Ферми уже объяснил открытие (эффект Ферми) как явление замедления нейтронов и заметил: «Как глупо, что мы не предсказали этого раньше». Примерно через год основы той области физики, которая сегодня носит название «нейтронной», были так ясно сформулированы Ферми, что некоторые его статьи, в частности, работы «Поглощение и диффузия медленных нейтронов» и «О движении нейтронов в средах, содержащих водород» (статьи 73 и 74), сегодня, почти 30 лет спустя после опубликования, являются лучшим введением в этот раздел физики, одинаково интересующий как физиков, так и инженеров.

В период с 1934 по 1936 г. Ферми целиком посвятил себя нейтронным исследованиям. Вследствие этого в жизни Института физики, естественно, произошли заметные изменения. Ферми был вынужден прекратить свою неофициальную педагогическую деятельность с подающими надежды студентами. Крайняя занятость Ферми в экспериментальной работе привела к тому, что зарубежные физики почти перестали приезжать к нему учиться. Забегая вперед, отмечу, что в последние годы жизни Ферми вернулся к старому обычаю римского периода — к специальным занятиям с молодежью; сегодня его учениками считают себя Г.Андерсон, Вольфенштейн, Гарвин, Гелл-Манн, Гольдбергер, Ли, Маршалл, Орир, А.Розенфельд, Штейнбергер, Чемберлен, Чу, Янг и многие другие.

В опытах, выполненных в Риме в 1934—1935 гг., бомбардировка урана нейтронами вызвала образование ряда радиоактивных элементов, среди которых, по мнению Ферми, был и элемент с атомным номером 93. Как стало ясно впоследствии, эти элементы в действительности оказались продуктами деления; и хотя при бомбардировке урана образуются трансурановые элементы, сообщение Ферми об элементе 93 было неверно — единственная ошибка в течение его долгой и блестящей исследовательской деятельности. Это, надо отметить, не затормозило развития исследований, которые привели к открытию деления. Однако Ферми очень переживал опубликование работы по элементу 93, точнее, шумное обнародование (против его воли) результатов этой работы в газетах.

В Римском институте физики Ферми получил прозвище «папы», с которым обращались к нему все его сотрудники и друзья не только в Риме, но и во всем мире. Прозвище это означало, что Ферми (в области физики!) был непогрешим так же, как считается непогрешимым в вопросах религии глава католической церкви — Папа Римский. Ферми, конечно, остался «папой» даже после случая с элементом 93.

Что же особенно выделяло Ферми среди других известных экспериментаторов? Его не отличало какое-то особое искусство конструирования сложной аппаратуры и постановки «акробатических» экспериментов (впрочем, он быстро овладел и этим искусством, когда в том появилась необходимость). Конечно, Ферми был в высшей степени энергичным, работоспособным, терпеливым и упорным; но этими качествами обладали, вероятно, все великие естествоиспытатели. По-види-

мому, уникальная черта Ферми, ученого двадцатого века, заключалась в объединении экспериментального подхода с теоретическим — черта, которая была свойственна великим физикам *прошлых* веков. Он сам часто говорил, что разделение физики на теоретическую и экспериментальную — это вредная вещь. Именно благодаря этой его черте он всегда умел ставить самые существенные вопросы и затем быстро отвечать на них с помощью самых простых, но адекватных для решения поставленной задачи экспериментов.

«Аппаратурной эстетикой» он совершенно не увлекался. Единственное, что он требовал от своих экспериментальных установок, это то, чтобы они действовали так, как он наметил. В связи с этим мне вспоминается один эпизод. Однажды Разетти критиковал Ферми за то, что он изготовил некрасивую установку. «Но она работает», — заметил Ферми. Теперь уже рассерженный Разетти наступал: «Энрико, в экспериментальной работе ты способен на недостойные поступки. Посмотри на этот электрометр Эдельмана (Разетти имел в виду блестящий, хромированный, нарядный и прекрасный прибор, бывший в наших глазах символом технического совершенства); если бы ты считал, что для получения некоторых сведений его следует смазать "куриной кровью" (на нашем жаргоне мы так именовали широко использовавшуюся в лаборатории красноватую и неаппетитно выглядевшую мастику), ты бы сделал это. А я не способен на такой поступок, даже если бы был уверен, что это даст мне Нобелевскую премию. Признайся, Энрико, что ты бы так сделал». И Ферми, который высоко ценил экспериментальный талант Разетти, спокойно ответил: «Конечно, я выкупал бы все наши электрометры в куриной крови, если бы это помогло узнать что-нибудь существенное».

Жизнь Ферми в Риме

Личная жизнь Ферми с того времени, когда он обосновался в Риме, протекала спокойно и благополучно в течение нескольких лет, примерно до 1936 г. Он женился в 1928 г. на синьорине Лауре Капон, ставшей впоследствии автором переведенной на русский язык популярной книги «Атомы у нас дома». Как мы увидим, это событие десять лет спустя стало главной причиной того, что Ферми вместе с семьей покинул родину. В 1929 г. Ферми был несколько неожиданно избран, по-видимому, благодаря сенатору Корбино, членом Королевской Академии Италии. Это была новая Академия, созданная Муссолини для повышения престижа фашистского режима. Члены Академии получали довольно значительное вознаграждение. Избрание в Академию заметно увеличило доходы Ферми, принесло звание «его превосходительства» и довольно смешной мундир. Полученная таким образом материальная обеспеченность позволила ему более устремленно сконцентрировать свои усилия на научной работе. Он категорически отказался не только от административных и руководящих должностей, которые, как правило, сопровождают избрание на такие посты. Теперь для Ферми стало возможным постепенно оставить редакторскую работу в отделе физики Итальянской энциклопедии Треккани (эту должность он получил в 1928 г. благодаря сенатору

Корбино в виде «компенсации» за то, что остался в Риме, отказавшись от почетного и выгодного предложения занять бывшую кафедру Шредингера в Цюрихе).

Ферми вел размеренную жизнь, почти никогда не изменяя своим привычкам. Теоретической работой он занимался с половины шестого утра до половины восьмого. В Институт, который находился в живописной местности, вблизи от центра, но все-таки достаточно далеко от всякого шума, он приезжал не позже девяти утра. Официальные университетские лекции он читал с утра. На обед и отдых (или теннис три раза в неделю) отводилось время с 13 до 15 часов. В воскресенье утром он просматривал периодическую литературу в Институте, разговаривал с Корбино и со своими сотрудниками, обычно на научные темы. В воскресенье после обеда — прогулки с женой, сотрудниками и их женами. Во время рождественских каникул он ходил на лыжах. Лето проводил либо в Альпах на отдыхе, либо читая лекции за границей. Во время летнего пребывания за границей он обычно писал книгу или обзор, отражавшие содержание прочитанных лекций. Так родилась его знаменитая статья «Квантовая теория излучения» (лекции, прочитанные в 1930 г. в Мичиганском университете) и книга «Термодинамика» (лекции, прочитанные в Колумбийском университете в 1936 г.).

Так, очень эффективно, хотя спокойно и без спешки, проходило у Ферми время приблизительно до 1936 г. Как правильно заметил Сегре [5], «нейтронные исследования были проведены так быстро только потому, что они выполнялись маленькой группой, работающей в полной гармонии и без административных препятствий».

Общаясь с весьма узким кругом университетской интеллигенции, которому мир героического антифашистского итальянского рабочего класса был совершенно неизвестен, Ферми не проявлял никакого интереса к политике. До 1936 г. фашистская диктатура не очень мешала исследовательской работе Института. К тому же положение в Италии казалось много лучше, чем в Германии, что и подчеркивалось некоторыми физиками группы Ферми, работавшими временно в Германии и возвратившимися в Италию. Несмотря на свою аполитичность, во время пребывания в Риме в период фашистской диктатуры Ферми сохранил свою непоколебимую научную честность, находясь даже в совершенно развращенной фашистской Королевской Академии Италии. В частности, в Академии и в университетах он всегда боролся за признание научных достижений, а не заслуг перед фашистским государством, как критерия при выборе ученых на университетские кафедры и другие должности.

Положение лаборатории начало ухудшаться с того момента, когда Муссолини подготовил и начал агрессию против Абиссинии, и продолжало ухудшаться после того, как фашистская Италия и нацистская Германия стали союзниками в позорной войне против испанского народа, и, наконец, после аннексии Австрии Германией. Фашистский режим, который вначале был орудием крупного итальянского монополистического капитала, стал невольно марионеткой более серьезного хозяина — агрессивного немецкого империализма.

Вместе с этим были и другие трудности, которые препятствовали нормальной работе Ферми в Институте физики и привели его к решению покинуть родину: потеря некоторых сотрудников, которые уже не работали в Риме, кончина про-

фессора Корбино и назначение на пост директора Института человека, который не питал никакой симпатии к исследованиям Ферми, и, наконец, антисемитские фашистские законы, которые непосредственно его не касались, но могли угрожать его семье (жена Ферми была итальянкой еврейского происхождения, сам он был католиком).

Благоприятный случай представился в 1938 г. Ферми был награжен Нобелевской премией за исследовательские работы по свойствам нейтронов и вместе с семьей уехал из Стокгольма, куда он ездил за премией, в Нью-Йорк. Он покинул родину без шума: практически никому не было известно, что его поездка за границу — безвозвратна. Некоторое время спустя (также без шума) он обратился к итальянским авторитетным лицам с просьбой передать его академическое жалование в помощь молодым ученым. (В Италию он приезжал лишь десять лет спустя, после войны, на международный конгресс физиков; его приняли триумфально.)

Впоследствии Ферми собственным примером внес значительный вклад в то, чтобы рассеять весьма распространенное тогда в капиталистических странах мнение о том, что «итальянец» и «фашист» — синонимы. И не случайно, что в Италии именно неофашистская печать не считает для себя позором оскорблять память человека, которым весь итальянский народ вправе гордиться как одним из своих лучших сынов.

Атомная энергия

В Нью-Йорке, в физическом отделении Колумбийского университета, который наряду с другими высшими учебными заведениями США предложил Ферми постоянную должность, он работал и ранее, до награждения Нобелевской премией; там у него были хорошие друзья. Поэтому он принял должность профессора физики Колумбийского университета и с семьей поселился в Нью-Йорке. Там он создал (1939 г.) количественную теорию ионизационных потерь энергии заряженными частицами, учитывающую поляризацию вещества, через которое эти частицы проходят. Из этой, впоследствии проверенной опытом, теории, которая теперь стала классической, следует, что тормозная способность веществ зависит от степени их конденсации (фермиевский эффект плотности, статья 85).

Возобновление экспериментальной деятельности Ферми в США определилось тем, что сразу после открытия Ганом и Штрассманом деления урана нейтронами он понял, какие революционные возможности могли вытекать из этого явления. В Пьюпиновской лаборатории некоторые физики как раз заинтересовались проблемой урана. Один из них, Г.Андерсон, по характеру, складу ума и научным склонностям очень напоминал Амальди, идеального помощника Ферми в его экспериментальной работе. К тому же лаборатория имела хороший циклотрон. Итак, Ферми с Андерсоном образовали ядро небольшого коллектива, из которого затем выросло огромное научно-техническое учреждение — так называемая Металлургическая лаборатория в Чикаго. Ферми со своей склонностью все делать самому и римским опытом работы с микроскопическим коллективом, конечно, не предвидел такого превращения.

Независимо от группы экспериментаторов, работавших под руководством Жолио-Кюри, Ферми скоро экспериментально доказал, что при делении урана испускается несколько нейтронов, а это говорило о возможности цепной реакции (статьи 82 и 84). С этого времени (1939 г.) вся деятельность Ферми на несколько лет была посвящена проблеме овладения атомной энергией: добился он этого в декабре 1942 г. в Чикаго. Ферми назвал первый ядерный реактор «pila», что по-итальянски означает нечто, сложенное из многих одинаковых слоев, подобно тому, как вольтов столб — первый сравнительно мощный источник постоянного тока — по-итальянски называется «pila» Вольты. Ясно, что «pila» Ферми имеет не меньшее историческое значение, чем «pila» Вольты.

После создания первого реактора во время второй мировой войны Ферми продолжал свои исследования в области мирного и военного применения атомной энергии в Чикаго, а с 1944 г. — в Лос-Аламосе; при этом заметим, он не был ни директором Чикагской металлургической лаборатории (возглавлявшейся С.Аллисоном), ни Лос-Аламосской научной лаборатории (руководившейся знаменитым физиком Р.Оппенгеймером). Вот рассказ Сегре [5] о деятельности Ферми в Лос-Аламосе.

«У Ферми не было никакой специфической научной обязанности, ни административной ответственности: правда, он состоял членом Руководящего совета Лаборатории, с которым директор консультировался по всем важным вопросам, но по существу в Лаборатории он был кем-то вроде "оракула", работа которого заключалась в решении проблем, находящихся выше обычных способностей коллектива (и какого коллектива!). Дж. фон Нейман, который был там консультантом, был также "оракулом". В Лос-Аламосе Ферми прямо интересовался только "кипящим" котлом, гомогенным реактором; но вообще, повторяю, он участвовал в работах по всем новым или необычным проблемам. Помню, я присутствовал в его кабинете на обсуждениях гидродинамических проблем вместе с фон Нейманом. Обсуждения приняли странную форму соревнования перед черной доской: кто первый решит проблему. Фон Нейман, пользуясь своим непостижимо быстрым аналитическим искусством, обычно выигрывал. Иногда такие обсуждения прерывались неожиданными событиями. Например, во время одной из этих гидродинамических дискуссий я был свидетелем прихода эксперта по электронике, который находился перед новой и очень трудной проблемой создания нужной электронной схемы. В течение 20 минут Ферми придумал схему, которая могла решить проблему; однако никто не знал, существует ли лампа с необходимыми особыми характеристиками. Консультация со справочником обнаружила, что требуемая лампа имеется; соответствующий прибор был скоро создан и удовлетворительно работал».

Ферми работал над созданием атомной бомбы и принимал участие в испытании ее первого образца. Ряд дальновидных ученых США во главе с Лео Сцилардом и лауреатом Нобелевской премии Дж.Франком обратились к правительству США с настоятельной просьбой не использовать это ужасное оружие в военных операциях. Однако четверо видных ученых, входивших в состав правительственного совета по ядерным делам, Комптон, Лоуренс, Оппенгеймер и Ферми, рекомендовали использование атомной бомбы в войне против Японии. Это, к сожа-

лению, факт, но не им определилась судьба Хиросимы. Теперь хорошо известно, что при использовании атомной бомбы в конце мировой войны правительство США никак не руководствовалось требованиями военной ситуации: ужас Хиросимы нужен был ему как первый акт атомной дипломатии.

Конец войны застал Ферми в Лос-Аламосе.

Здесь невозможно дать хотя бы отдаленное представление о той колоссальной работе, которую выполнил Ферми в области атомной энергии. Представленные в настоящем издании научные работы и отчеты Ферми говорят сами за себя. Большинство работ этого периода (1939—1945 гг.) было засекречено и поэтому впервые появились в печати в недавно вышедшем за рубежом издании сочинений Ферми. Следует иметь в виду, что большинство отчетов не было предназначено для печати; безусловно, они существенно изменились бы к лучшему, если бы Ферми сам подготовил их к опубликованию. Тем не менее в настоящем издании приводятся, хотя и выборочно, работы Ферми данного периода, поскольку они не только характеризуют напряженную деятельность Ферми в это время, но и вместе с вводными замечаниями Андерсона, Сегре и других достаточно подробно описывают беспрецедентную по объему исследовательскую работу, представляющую большой интерес для истории науки и технологии, для истории вообще. Можно только пожалеть, что еще нет подробного описания подвига советских ученых, выполнявших под руководством И.В.Курчатова аналогичную работу в гораздо более трудных условиях.

Работы по замедлению и диффузии нейтронов в графите, выполненные Ферми совместно с Андерсоном, являются примером экспериментального и теоретического мастерства. Многие научные термины, принятые в этой области, носят имя Ферми: «нейтронный "возраст" по Ферми», «фермиевская тепловая колонна» и т.д. Здесь же следует напомнить о методе Ферми определения критических размеров реагирующей среды в опытах, выполненных при относительно маленьком количестве урансодержащего вещества (экспоненциальный опыт Ферми). Опыт, описание которого можно найти во всех книгах, посвященных ядерным реакторам, так прост, что сегодня трудно представить себе иной подход к рассматриваемому вопросу. Кстати, многие из фермиевских результатов по исследованию реакторов, и вообще по развитию «нейтроники», отражены в великолепных «Лекциях по нейтронной физике» (статья 112), прочитанных для молодых ученых Лос-Аламосской лаборатории. Как видно, от преподавательской деятельности Ферми не отказался даже в период крайне напряженной экспериментальной работы.

Последний период научной деятельности

После войны Ферми принял должность профессора физики Чикагского университета (1946 г.) и одновременно стал сотрудником только что созданного Института ядерных проблем (теперь носящего его имя). Он отказался от поста директора Института, и директором стал его старый друг С.Аллисон. Теперь Институт возглавляет его ученик Г.Андерсон.

Используя построенный им реактор на тяжелой воде в качестве источника нейтронов, Ферми открыл новую главу в области ядерной физики — нейтронную оптику, ряд важных вопросов которой хорошо описан в его переведенной на русский язык книге «Лекции по атомной физике». В этой же книге можно найти обсуждение фундаментальной проблемы нейтрон-электронного взаимодействия, решению которой Ферми посвятил (1947 г.) остроумный эксперимент (статья 121).

Создатель ядерной науки Резерфорд сказал, что ученики не позволяют ему стареть. Это утверждение верно для большинства ученых, достойных звания наставника. Что же касается Ферми, то до конца своей жизни он был моложе духом любого своего ученика или сотрудника. И до конца своих дней Ферми оставался студентом, всегда полным страстного желания получить новые знания.

В возрасте около пятидесяти лет Ферми, имевший в своем распоряжении ряд реакторов для фундаментальных исследований в крайне интересной, им же созданной области, решает полностью изменить направление своей деятельности и посвящает себя исследованиям частиц высоких энергий. В частности, его привлекает одна из центральных проблем современной физики — проблема мезон-нуклонного взаимодействия. Его исследования (1953 г.) рассеяния положительных и отрицательных π-мезонов протонами открыли еще одну новую главу экспериментальной и теоретической физики (статьи 131—140).

В работах по рассеянию π-мезонов на водороде особенно ярко выступает личность Ферми как выдающегося теоретика и экспериментатора. В этих работах он участвовал не только как руководитель, но и как непосредственный исполнитель; это видно хотя бы из того, что он разработал, например, конструкцию внутренней мишени синхроциклотрона, управляемой дистанционно.

В работах по π-мезонам, как и в других работах, неизгладимый след идей и личности Ферми оставался не только в содержании его исследований, но также и в особых методических подходах, в новых научных выражениях и даже в крайне удачных обозначениях. Между прочим, Ферми был того мнения, что вопрос о простоте обозначений имеет первостепенное значение в теоретической физике.

Невозможно получить представление обо всем объеме его теоретической деятельности по опубликованным статьям: для печатания была отобрана лишь незначительная часть всех работ. Вот почему нет ни одной теоретической работы зрелого Ферми, которая не была бы выдающейся. Результаты же неопубликованных работ Ферми записал в краткой форме и сохранил в многочисленных тетрадках, составлявших, как он сам говорил, его искусственную память.

Из теоретических статей Ферми в области высоких энергий особое место занимают две, касающиеся так называемого фермиевского механизма ускорения первичных космических лучей и теории множественного образования мезонов. Обе основаны на идеях, столь же простых, как и поразительных.

В основе объяснения (1949 г.) механизма ускорения первичных частиц в космических лучах лежит следующее рассуждение, основанное на принципе равномерного распределения энергии. Рассмотрим соударения микрочастиц с движущимися макроскопическими телами. Хотя в отдельном столкновении частицы могут потерять или увеличить свою энергию, в конечном счете имеется тенденция к статистическому равновесию, а это означает, что частицы при соударениях с мак-

роскопическими телами в среднем ускоряются. Согласно теории Ферми, заряженные частицы отклоняются магнитными полями, связанными с межзвездным проводящим газом, и в конце концов стремятся приобрести энергию, равную энергии движущегося газа в целом (статьи 123, 145). Эта работа имеет большое значение не только для физики космических лучей; в ней содержатся основополагающие идеи и подходы к таким областям, как физика плазмы, космофизика и астрофизика.

Это не единственная работа Ферми, имеющая астрофизическое значение; давным-давно он тянулся к астрофизике, но только в последние годы жизни ему удалось достичь вершины и в этой области науки. Астрофизическая деятельность Ферми подробно освещается во вводных замечаниях Чандрасекара к статье 141.

В теории множественного образования частиц (1950 г.) процесс соударения при очень высоких энергиях рассматривается при помощи статистических и даже термодинамических методов (статья 125). До сих пор фермиевские идеи остаются основополагающими в области физики сверхвысоких энергий.

Такое поразительное долголетие идей Ферми объясняется тем, что он обладал исключительной физической интуицией. Ферми всегда находил наиболее простые подходы к решению самых сложных практических задач. Что же касается исследований фундаментального характера, то избранные Ферми большие проблемы становились всегда простыми, хотя эта простота, конечно, появлялась только после того, как он их блестяще разрешал. О замечательном примере интуиции Ферми (во время исследований, приведших к открытию явления замедления нейтронов) рассказано довольно подробно во вводных замечаниях к статьям 61—70 и 141.

Можно привести и другие примеры интуиции Ферми. Не проявлением ли интуиции был вопрос, который на одном из семинаров он задал Марии Гепперт-Майер? Она поблагодарила его за этот вопрос в своей знаменитой работе о модели ядерных оболочек, за которую много лет спустя была удостоена Нобелевской премии, следующими словами: «Я признательна Энрико Ферми за его замечание в виде вопроса, имеется ли хоть какое-либо указание, свидетельствующее в пользу спин-орбитальной связи, которое и породило настоящую работу».

Еще одно далеко идущее замечание сделал Ферми, когда М.Гелл-Манн в начале 50-х годов предложил ввести «странность» элементарных частиц. В схеме Гелл-Манна было необходимо, чтобы K^0-мезон отличался от $\overline{K}^0$-мезона, причем распады обеих этих частиц считались в то время тождественными. И вот Ферми спросил Гелл-Манна: «Как вы можете представить себе K^0- и $\overline{K}^0$-мезоны различимыми, если они распадаются неразличимым образом?» Как теперь ясно, в этих словах скрыта глубокая догадка о дуальных свойствах нейтральных каонов и вообще о том круге физических проблем, относящихся к свойствам нейтральных каонов, который вскоре вырос в самую волнующую главу физики элементарных частиц.

Я хотел также рассказать об одной привычке Ферми, которая была известна только тем, кто хорошо его знал. Хотя Ферми никогда не боялся трудностей (в частности, математических) в своей работе, все-таки он не любил их подчеркивать при изложении результатов. Таким образом, в лекциях или беседах Ферми

всегда можно было видеть отчетливое стремление обойти трудности. Эта черта его характера хорошо проиллюстрирована во вводных замечаниях к статье 141. Иногда она приводила к довольно любопытным эпизодам. Это происходило чаще всего тогда, когда Ферми, убедившись в правильности некоторого нового результата (конечно, доказанного им со всей научной строгостью), намеренно излагал его с помощью только простых и интуитивных аргументов. И если кто-нибудь пробовал оспаривать результат, как нестрогий, или искал более строгое решение, это доставляло ему большое удовольствие: он или вовсе молчал, улыбаясь, или с удовольствием лукаво произносил: «Несчастненькие!» Читателю может показаться, что это похоже на «демагогию». Конечно, дело не в демагогии: всем этим Ферми призывал к поискам самого дорогого для него — простого пути к истине.

Мне хотелось бы здесь отметить также полное отсутствие у Ферми научного догматизма. Это редчайшее явление для таких одаренных физиков, каким был Ферми, с такой огромной эрудицией и удивительной способностью использовать «незыблемые» законы и основы науки. Кстати, мне кажется, что как раз одна из самых характерных черт Ферми — это его требование «золотой середины» или, если хотите, необходимости «борьбы на два фронта» в науке: крайне важны основные принципы, но вредна предвзятость; да здравствует новое, но пусть новое узаконивается только тогда, когда старое оказалось негодным; физика движется вперед благодаря открытиям, но не только благодаря открытиям; очень хорошо, если физику удается открыть новое явление или предсказать неожиданную закономерность, но физика не делается «охотой за открытиями»; оригинальность и научная фантазия хороши только в сочетании с глубоким знанием.

Ферми приехал в Италию в 1949 г. на физический конгресс (первую значительную международную конференцию после войны), состоявшийся в Комо, городе Алессандро Вольта. В Комо можно было убедиться, с какой теплотой относились к нему не только зарубежные и итальянские физики, но и местные жители. В Италии он провел всю осень 1949 г. и прочел те самые лекции, которые впоследствии были изданы в виде книги «Лекции по атомной физике». Уже один взгляд на оглавление этой полупопулярной книги дает представление о широте интересов Ферми в то время: от физики элементарных частиц до нейтронной оптики, от дираковского монополя до космологии, от квантовой электродинамики до ядерной археологии.

И другие лекции, связанные с его преподавательской деятельностью в Чикагском университете или с участием в летних школах, как правило, завершались изданием книги. К изданию книги «Лекции по пионам и нуклонам» привела и его последняя, состоявшаяся за несколько месяцев до смерти, поездка в Италию, где он читал свои великолепные лекции на эту тему в летней школе (теперь ежегодная школа по физике имени Энрико Ферми) в Варенне, на озере Комо.

По возвращении в Чикаго стало ясно, что он неизлечимо болен. Во вводных замечаниях Янга к статье 124 содержится волнующий рассказ о прощании Янга и Гелл-Манна со своим учителем в больнице, где Ферми лежал, вполне сознавая безнадежность своего положения. Он был слишком рационалистичен, чтобы тешить себя иллюзиями, но работал до конца своей жизни с олимпийским спокойствием. Он скончался 29 ноября 1954 года.

Сегре [5] рассказывает, что в последние годы он заметил у Ферми ярко выраженное желание избегать даже малейшей потери времени, как будто он предчувствовал, что времени у него осталось слишком мало. Ферми действовал так, как будто судьба определила ему задание, поставила цель, которую он должен был обязательно достичь. В 1946 г. Ферми, оценивая, что им уже было сделано и что остается сделать, сказал Сегре: «Одна треть». И этим он хотел сказать, что он дал науке «только» 1/3 того, что он, глядя в будущее, собирался создать за время своей жизни.

Трудно представить, сколько успел бы Ферми еще сделать в науке, если бы он прожил еще 15—20 лет. Судя по тому, как фактически развивалась после смерти Ферми физика элементарных частиц и астрофизика, на которых были главным образом сфокусированы его интересы в последний период жизни, позволительно считать, что он мог бы внести еще огромный вклад в науку. Я хотел бы проиллюстрировать эту точку зрения на примере.

После работы учеников Ферми, теперь лауреатов Нобелевской премии, Ли и Янга (1956 г.) о несохранении четности в слабых взаимодействиях, Ландау, Саламом и другими была сразу предложена теория так называемого продольного нейтрино. Вполне допустимо, что Ферми не осознал бы первым уникальные новые свойства нейтрино, но после опубликования теории продольного нейтрино он наверняка создал бы универсальную теорию слабых взаимодействий, которая была предложена в 1957 г. лауреатами Нобелевской премии Р.Фейнманом и одним из учеников Ферми — М.Гелл-Манном. Ведь фермиевская теория бета-распада (1933 г.) содержала все предпосылки универсальной теории; к тому же никто лучше Ферми не мог разгадать ошибочность некоторых экспериментальных результатов, которые как раз препятствовали созданию этой теории, сегодня по праву называемой теорией универсального взаимодействия Ферми. Но Ферми не смог дожить до того времени, когда его теория фактически стала последним словом в науке о слабых взаимодействиях.

Ряд других работ Ферми приобрел особенную важность спустя несколько лет после его кончины. Среди них здесь хотелось бы упомянуть первую работу о составных моделях элементарных частиц (статья 124), которая дала начало новому направлению, вылившемуся пятнадцать лет спустя в современную теорию так называемых «кварков».

Досадно также, что Ферми, обнаруживший в 1953 г. первый случай так называемых адронных резонансов (статья 132), не смог увидеть продолжающегося до сих пор триумфального развития этого направления и появления в таблицах элементарных частиц сотен резонансов.

Еще одним примером проявления научной проницательности Ферми является его работа (см. приложение 1) по теории, которая сегодня известна под названием теории «горячей Вселенной». Если судить по живому интересу, с которым Ферми следил за этой теорией, то можно утверждать, что он быстро и творчески реагировал бы на астрофизическую сенсацию 1965 года: сообщение о наблюдении Пенсиасом и Вильсоном изотропного космического электромагнитного излучения со спектром, соответствующим излучению черного тела при температуре около 3 K (так называемое реликтовое излучение).

Для большинства образованных людей имя Ферми связано с созданием первого ядерного реактора, что послужило решающим шагом в новый, атомный век. Для профессиональных физиков имя Ферми связано с блестящими успехами современной физики, всей физики почти полувекового периода. Спустя 15 лет после кончины Ферми не найдешь ни одного выпуска физического журнала, будь это «ЖЭТФ», «Ядерная физика», «Physical Review» или какой-либо другой журнал, в котором бы несколько раз ни упоминалось его имя. Награждение Нобелевской премией считается признаком достижения вершин в науке. Невольно спрашиваешь: если бы исследования Ферми публиковались различными авторами, скольких Нобелевских премий они могли быть удостоены? Мне кажется, что не менее шести, а именно: за статистику, теорию бета-распада, исследования по физике нейтронов, совокупность теоретических работ по структуре атомов и молекул, создание первого атомного реактора, работы по физике высоких энергий.

Те, кому посчастливилось учиться у Ферми и работать под его руководством, будут всегда помнить о нем, как о непогрешимом «папе» физиков, уникуме XX века.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Persiko E.* // Scientia, 1955, vol.90, p.316.
2. *Persiko E.* // Scientific American, 1962, vol.207, No.5, p.181.
3. *Ферми Л.* Атомы у нас дома. М.: ИЛ, 1958.
4. *Rasetti F.* // Science, 1955, vol.121, p.449.
5. *Segre E.* Biographical Introduction // Fermi E. Collected Papers. The University of Chicago Press, 1962, vol.1.
6. *Понтекорво Б.* // УФН, 1955, т.57, с.349.

ВОЗВРАЩЕНИЕ НА УЛИЦУ ПАНИСПЕРНА*

Не могу скрыть свое глубокое волнение от того, что нахожусь здесь, на улице Панисперна, в месте, которое видело рождение школы Ферми, чтобы почтить память Эдоардо Амальди.

В XX веке, в котором царит специализация, скорее уникальной, чем редкой, была жизнь такого ученого, как Эдоардо Амальди, отличавшегося не только превосходными по качеству и количеству исследованиями, но и своим преподаванием физики в университете и в других местах, и наконец, своими качествами человека и большого организатора науки.

Разрешите мне рассказать вам подробно, как мы здесь пришли в 1934 г. к открытию замедления нейтронов.

По заданию Ферми Амальди провел серию семинаров на основе знаменитой книги Резерфорда о естественной радиоактивности, что было связано с решением превратить лабораторию, специализировавшуюся в оптической спектроскопии, в лабораторию по ядерной физике. Я многим обязан Эдоардо; в то время я работал по предложению Сегре, которому я тоже многим обязан, над одним явлением оптической спектроскопии, а именно над физикой так называемых «вздутых атомов», зародившейся в работах Ферми, Амальди и Сегре. Однако ядерная физика, над которой все уже начали работать, мне казалась гораздо интереснее, чем оптическая спектроскопия, поскольку последняя уже находилась на весьма продвинутой стадии развития и мне, новичку, было очень трудно ее осваивать. С другой стороны, можно утверждать, что было нетрудно следить за работами по ядерной физике, которые в институте только зарождались. Поэтому я был очень доволен, когда по возвращении после каникул в Рим мне предложили помогать другим в изучении радиоактивности, наведенной нейтронами и открытой Ферми несколько месяцев назад.

Амальди и я получили задание заняться количественным изучением этого явления. С этой целью мы исследовали условия, в которых можно было сравнить интенсивности радиоактивности, наведенной нейтронами в различных веществах. Первым условием успеха было получение воспроизводимых результатов, хотя бы (при выполнении разных опытов) при использовании одного и того же вещества (которое мы называли детектором). Детектором служил цилиндр из серебра с тонкими стенками (период 2,3 минуты), который облучался нейтронами от источника (радон + бериллий). Мы заметили, что активность серебряного цилиндра воспроизводится плохо. Кроме того, даже в случае относительно большого расстояния между источником и детектором, расстояния, при котором мы ожидали интенсивность близкую к нулю, интенсивность активности цилиндра оказывалась совсем не пренебрежимой; мы это окрестили «эффектом маленького замка», имея в виду сооружение из свинцовых кирпичей, в котором мы хранили источник для

*Выступление 5 декабря 1990 г. во время посещения улицы Панисперна по случаю первой годовщины смерти Эдоардо Амальди // Знание (Sapere), № 3 (935), март 1991 г., с.30—32 — *Перевод с итальянского Д Б Понтекорво*

защиты от гамма-излучения. Амальди и я были уверены в существовании «эффекта маленького замка»; Разетти же со своей душой скептика считал, что мы сделали работу недостаточно чисто. Казалось, что Ферми это было не очень интересно, но, как мы впоследствии увидели, это было совсем не так. Было решено выполнить «чистый» опыт, в котором детектор и источник были расположены на расстоянии в несколько сантиметров друг от друга, и предусматривалось помещать между этими двумя предметами свинцовый поглотитель в форме клина. Этот поглотитель был сделан, но он никогда не был использован ни Ферми, ни другими. Никому ничего не говоря, Ферми приготовил поглотитель из парафина такой же формы, как и свинцовый, и измерил интенсивность от детектора с парафином и без него. Потом он нас всех позвал и сказал: «Как вы видите, парафин не уменьшает, а несколько увеличивает интенсивность от детектора. Раз малое количество парафина приводит к незначительному увеличению интенсивности от детектора, вместо ослабления, то посмотрим, что произойдет при большом количестве парафина». Мы собрали все куски парафина, которые были под рукой; сначала опыт был выполнен с парафином, потом с водой; результаты нас изумили. Интенсивность от детектора оказалась во много раз выше, чем та, к которой мы привыкли.

Таким образом был открыт эффект замедления нейтронов при столкновениях с протонами. Ферми остудил нашу эйфорию, произнеся: «Теперь пойдем поедим». Я подробно рассказал об обстоятельствах открытия медленных нейтронов, потому что здесь решающими оказались как случай, так и интеллект великого ума. Когда мы спросили Ферми, почему он приготовил поглотитель из парафина вместо того, чтобы использовать свинцовый, то он ответил: «С.Ф.И., т.е. с помощью моей феноменальной интуиции». Было бы неправильно заключить по этому ответу, что Ферми был лишен скромности. Он был прост и скромен, но он был уверен в собственных силах. Когда в тот день мы вернулись в институт после завтрака, Ферми нам объяснил с удивительной ясностью эффект парафина, введя при этом понятие замедления нейтронов. С абсолютной искренностью он сказал: «Мы оказались глупцами, что открыли явление случайно вместо того, чтобы его предвидеть». В тот же день были сделаны многочисленные заключения, некоторые из которых явились результатом опытов, проведенных, как говорил Эдоардо, «за закрытыми дверьми». Так, например, Амальди и я (и сегодня я не стыжусь об этом говорить) занялись исследованием влияния сильных электрических и магнитных полей на явление активации в водородсодержащих веществах!

Ферми рассказал о полученных результатах по замедлению нейтронов директору института сенатору Корбино, который воспринял их с энтузиазмом и сказал: «Очевидно, нужен патент на изобретение вашего метода замедления нейтронов». Не могу забыть детский и искренний смех Ферми в ответ на мнение, что упомянутые работы могут найти практическое применение. Наша общая радость была прервана Корбино, который сказал: «Вы молоды и совсем ничего не понимаете».

И.Я.ПОМЕРАНЧУК И НАЧАЛО ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ*

Впервые я встретился с Исааком Яковлевичем Померанчуком в конце 1950 г. Тогда я не знал ни одного слова по-русски и мы говорили на английском языке. Английский язык Исаак Яковлевич знал достаточно хорошо, чтобы понимать в совершенстве любую статью в области физики и излагать, пусть с грамматическими ошибками, свои научные мысли. В это время раз в неделю он приезжал в Дубну и каждый раз выступал на семинаре. Тогда в Дубне работал самый мощный в мире ускоритель, ускоряющий протоны до энергии в несколько сот МэВ. И.Я.Померанчука приглашали для воспитания молодого поколения экспериментаторов, которые делали первые исследовательские шаги в области физики высоких энергий. С дубненскими теоретиками он также проводил несколько часов. Одним словом, он был официальным «просветителем» дубненского института.

Его выступления были всегда удачными и увлекательными. Он обладал даром быть понятым слушателями самой различной подготовки. Он мог рассказать экспериментаторам об интересной работе, которая только что была опубликована. В этом случае он всегда подчеркивал главные физические идеи, но мало останавливался на математических деталях и вообще на вопросах математического аппарата. Конечно, иной была ситуация, когда он выступал на теоретическом семинаре. Кстати, в оригинальных научных работах И.Я.Померанчука аппарат всегда был адекватным исследуемой задаче.

Если же в промежутке между двумя его поездками в Дубну появлялась яркая по своим результатам экспериментальная работа, то он консультировался с экспериментаторами, суждение которых высоко ценил, и, если, по мнению последних, работа была серьезной, обязательно комментировал ее. При этом он совершенно не касался экспериментальной части и обсуждал теоретические следствия экспериментальных результатов независимо от того, что было написано по этому поводу в оригинальной работе. Таким образом, его выступления приобретали оригинальный характер и были в высшей степени интересными.

Я очень признателен Исааку Яковлевичу за то, чему научился у него тогда, и уверен, что все без исключения физики, работавшие в то время в Дубне, ему очень обязаны.

Я хочу рассказать об одном эпизоде, который хорошо иллюстрирует его функцию «просветителя». Я расскажу довольно подробно, так как это даст мне возможность остановиться на некоторых вопросах физики элементарных частиц. Главные действующие лица в рассказе — это гипероны и каоны — частицы, которые сегодня называются странными частицами. Необходимо учесть, что слово «странность» — это сегодня технический термин, но когда-то давным-давно эти частицы назывались странными потому, что они имеют удивительные свойства. Чем они были удивительны? Они удивительны тем, что рождаются в столкно-

*Выступление в Центральном лектории Политехнического музея 31 мая 1973 г. на вечере памяти И Я Померанчука // Воспоминания о И.Я Померанчуке. — М : Наука, 1988, с 109—114.

вениях при высоких энергиях с очень большой вероятностью, а распадаются самопроизвольно с очень большим временем жизни (т.е. с малой вероятностью).

Этот кажущийся парадокс — большая вероятность рождения и большое время жизни — был замечен мною независимо от американских физиков Гелл-Манна и Пайса в 1951 г., и я очень кратко рассказал о моих суждениях Исааку Яковлевичу, когда он приехал в Дубну на семинар. Он сразу же выступил на семинаре и сказал, что ему понравились мои замечания и он хотел бы рассказать о них. Он говорил не менее часа, и при этом в его речи не было воды. Его выступление оказалось очень полезным для меня.

Парадокс снимается, если допустить вопреки мнению, царившему в то время, что процессы рождения странных частиц отличаются по своей природе от процессов их распада. Как мы хорошо знаем сегодня, странные частицы рождаются в сильных взаимодействиях, а распадаются благодаря слабым взаимодействиям. Несколько слов об этих взаимодействиях. Физики давно знакомы с разными силами, но, может быть, не все из них задумывались над тем, что типов взаимодействий, глубоко различающихся по природе, очень мало. Если не считать тяготения, которое играет существенную роль только в присутствии огромных масс, то известны лишь три вида взаимодействий: сильные, электромагнитные и слабые.

Электромагнитные взаимодействия известны в физике давно. Благодаря им движущийся неравномерно электрический заряд испускает электромагнитные волны (например, видимый свет). С этим классом взаимодействия связаны все химические, атомарные и молекулярные явления. Электромагнитные взаимодействия, теория которых блестяще подтверждается опытом, глубоко связаны с электрическим зарядом элементарных частиц.

Теперь о сильных взаимодействиях. Они стали известны только после раскрытия внутренней структуры атомного ядра. В 1932 г. было найдено, что атомное ядро состоит из нуклонов (нейтронов и протонов). И именно сильные взаимодействия соединяют нуклоны в ядре, т.е. отвечают за ядерные силы, которые в отличие от электромагнитных характеризуются очень малым радиусом действия (около 10^{-13} см) и большой интенсивностью.

Кроме того, сильным взаимодействием обусловлены столкновения частиц высоких энергий, в частности столкновение, в котором рождаются каоны и гипероны, т.е. странные частицы. Поэтому странные частицы и рождаются с большой вероятностью.

Интенсивность взаимодействий удобно оценивать по так называемой длине свободного пробега частиц в некотором веществе, т.е. по средней величине пути, который частица может пройти в этом веществе до разрушающего или отклоняющего столкновения. Ясно, что чем больше длина свободного пробега, тем менее интенсивно взаимодействие.

Если рассматривать частицы очень высокой энергии, то соударения, обусловленные сильными взаимодействиями, характеризуются длиной свободного пробега частиц, равной по порядку величины десяткам сантиметров в меди или железе.

Иначе обстоит дело при слабых взаимодействиях. Нейтрино, например, испытывающее только слабые взаимодействия, обладает колоссальной проникающей способностью. Длина его свободного пробега в плотном веществе, скажем в же-



И.Я.Померанчук и А.И.Алиханов перед зданием Лаборатории теоретической физики в Дубне. Фотография начала 60-х годов; была выпущена в виде открытки ОИЯИ

лезе, измеряется в астрономических единицах, например толщиной чугунной плиты, в 10^9 раз превышающей расстояние от Земли до Солнца.

Мне остается привести некоторые примеры процессов, обусловленных слабыми взаимодействиями. Это, конечно, редчайшие соударения нейтрино с нуклонами при его прохождении через вещество. Зарегистрировать такие события необычайно трудно, но возможно. Но имеется ряд «слабых» процессов, более доступных исследованию. Речь идет о многочисленных самопроизвольных превращениях элементарных частиц, например о бета-распаде ядер. Оказывается, что такие превращения обусловлены слабыми взаимодействиями. Самопроизвольные распады странных частиц маловероятны, как я уже сказал, как раз потому, что они обусловлены слабым взаимодействием.

Все, что я вам сказал, сегодня представляет тривиальную истину. Но утверждение о существовании четырех типов взаимодействия было четко сформулировано только в 1953 г. благодаря работам советских и зарубежных ученых, и особенно американского физика Гелл-Манна.

Еще один пример просветительской деятельности Исаака Яковлевича Померанчука в Дубне. В начале 50-х годов появилась очень интересная работа польского физика Даныша о наблюдении гиперядер. Что такое гиперядро? Как вы знаете, атомное ядро состоит из нуклонов — нейтронов и протонов. Например, Li_3^6 состоит из трех протонов и трех нейтронов. Гиперядро — это квазиядро и

состоит из нуклонов и одной странной частицы — лямбда-частицы. Например, $^{\Lambda}Li_{3}^{6}$ состоит из трех протонов, двух нейтронов и одной лямбда-частицы.

Во время поездки в Дубну Исаак Яковлевич узнал о наблюдении Даныша и сразу рассказал об этом на семинаре. Учтите, что в работе Даныша была дана правильная интерпретация наблюдения, т.е. была сформулирована гипотеза о существовании гиперядра как системы из нуклонов и одной лямбда-частицы, но практически не обсуждались проблемы физики гиперядер. Померанчук тут же указал на особенность гиперядер. Принцип Паули, который так важен для систем, содержащих ряд одинаковых нуклонов, не играет роли для лямбда-частиц в гиперядре, так как таких частиц только одна. Померанчук исходил из наблюдения Даныша и прочел в течение часа прекрасную лекцию о том, чем гиперядра отличаются от обычных ядер, о том, какие сведения будут получены с помощью исследования гиперядер, о разных каналах их распадов, о силах между гиперонами и нуклонами и вообще сформулировал программу теоретических и экспериментальных исследований гиперядер, которая и сегодня звучала бы очень актуально. Очень жаль, что нет магнитофонной записи этого доклада. Теперь физика гиперядер — важный раздел физики элементарных частиц. Она развивается именно по пути, указанному Исааком Яковлевичем Померанчуком в этом неопубликованном докладе. Кстати, интересно, что Даныш не так давно уже нашел случай с гипер-ядром, в котором находится уже не одна, а две лямбда-частицы.

Человеческие качества Исаака Яковлевича проявились отчетливо в его научных выступлениях. Он был энтузиастом и как ученый, и как воспитатель, был нетерпим к халтуре в науке и к непринципиальности вообще. Он был смелым человеком, бесконечно преданным науке, обладал тонким юмором и умел заражать других своей бодростью.

UNA NOTA AUTOBIOGRAFICA*

От моего учителя Энрико Ферми я много раз слышал, что амбиции увеличиваются с возрастом. То, как я пришел к тому, чтобы написать эти автобиографические заметки, служит доказательством справедливости этого утверждения. Уже в течение многих лет научно-технические выпуски, издаваемые издательством Арнольдо Мондадори в рамках серии «Современные ученые и технологи», объединяют биографии многих ученых, включая некоторых моих знакомых и мою собственную. Новый подход этого издания состоял в том, что в большинстве случаев биографии ученых были написаны ими самими, т.е. это были автобиографические заметки. В моем же случае была опубликована биография, так как, насколько я помню, я ответил категорическим отказом на просьбу редактора прислать автобиографию, да еще снабженную собственными фотографиями. В то время я считал, что выполнить такую просьбу было бы актом чудовищного тщеславия. Спустя много лет я спокойно пишу автобиографические заметки и посылаю свои фотографии, доказывая тем самым, что «амбиции увеличиваются с возрастом».

* * *

Родился я в городе Пизе в 1913 г. в благополучной многодетной семье: отец — промышленник, мать — дочь врача, пять братьев и три сестры, из которых наиболее известны биолог Гуидо и кинорежиссер Джилло.

Родители, люди консервативные, были довольно авторитарны и имели весьма определенное мнение (которое скрывали) о каждом из нас, о чем я узнал, подслушивая и делая выводы: по их мнению, Гуидо был самым умным из детей, Паоло — самым серьезным, Джулиана — самой воспитанной, Бруно — самым добрым, но и самым ограниченным, что было видно по его глазам, добрым, но лишенным ума... Думаю, что этому мнению я обязан своей застенчивостью, комплексом неполноценности, который преследовал меня почти всю мою жизнь.

Хочу подчеркнуть, что большое влияние на мое формирование имела глубокая любовь отца к справедливости. Вот характерный и занятный эпизод. Мой отец очень уважал некоего человека по имени Данило, рабочего с фабрики Понтекорво, который в начальный период фашизма организовал забастовку. В связи с этим к моему отцу пришел чиновник (впоследствии ставший министром внутренних дел Республики Сало) — Гуидо Буффарини Гуиди, который хотел узнать имена «зачинщиков» забастовки. На отказ моего отца быть шпионом Буффарини вызвал его на дуэль (которая, к счастью, не состоялась). Этот эпизод с дуэлью очень нас развеселил и еще более укрепил наше уважение к отцу.

---

*Наука и техника, 88/89. Ежегодник ЭНТ. Энциклопедия науки и техники — Изд-во А Мондадори, с 82—86. — *Перевод с итальянского Д.Б.Понтекорво*

В школе я учился умеренно хорошо, но самым важным делом в моей жизни был теннис, настоящим знатоком которого я до сих пор с гордостью себя считаю. Я поступил на инженерный факультет Университета в Пизе, и в течение двух лет у меня были приличные отметки. Однако мне не нравилось черчение, и я решил бросить технику и перейти на третий курс физического факультета. Мой брат Гуидо авторитетно меня поддержал: «Физика! Значит, тебе придется ехать в Рим. Там находятся Ферми и Разетти!» Я поехал в Рим, где Ферми и Разетти устроили мне неофициальный экзамен. После экзамена, во время которого я, очевидно, показал весьма посредственные знания, Ферми высказал некоторые замечания, которые определили выбор моей профессии и которые стоит здесь привести: «Физика одна, но, к несчастью, сегодня физики делятся на две категории — теоретиков и экспериментаторов. Если теоретик не обладает исключительными способностями, то его работа лишена смысла. Что же касается экспериментальной физики, здесь существует возможность полезной работы, даже если человек обладает средними способностями».

Итак, я поступил на третий курс физико-математического факультета Римского университета, причем подразумевалось, что в будущем я должен заниматься исследованиями экспериментального свойства. Это оказалось самым важным событием в моей научной жизни: сначала как студент, а потом как сотрудник, с 1931 по 1936 г. я оказался в группе, руководимой Ферми (группе парней с улицы Панисперна, как ее окрестили журналисты: Ферми, Разетти, Амальди, Сегре...). Ферми не только учил физике своих учеников. Личным примером он передал им свою глубокую страсть к физике, в которой прежде всего любил и подчеркивал простоту. Он учил понимать дух и этику науки. У Ферми я научился презирать научный авантюризм и субъективизм, не одобрять атмосферу «охоты за открытиями», царящую в некоторых исследовательских институтах, и относиться с антипатией к тем, кто в физике усложняет, вместо того, чтобы упрощать. Те, кому посчастливилось заниматься исследованиями вместе с Ферми и работать под его руководством, всегда вспоминают его как непогрешимого «папу» физиков, как его называли сотрудники института.

Я защитил диплом в 1933 г., в 20 лет. После чего я стал ассистентом Орсо Марио Корбино и принял участие в экспериментальных исследованиях Ферми и его группы, в частности, в открытии медленных нейтронов. Эти исследования открыли дорогу известным практическим применениям нейтронов (ядерной энергии, изотопам в медицине и, что достойно позора, войне).

Вот следствия этих исследований для некоторых членов группы Ферми: они принесли Нобелевскую премию Ферми, определенная слава досталась даже младшему участнику группы, все получили патент на изобретение, который спустя много лет был продан правительству Соединенных Штатов Америки за внушительную сумму, давно уже выплаченную изобретателям (всем, кроме меня), мне была присуждена премия Министерства национального образования, благодаря которой я поехал в 1936 г. в Париж работать с Ф.Жолио-Кюри.

В Институте радия, а потом в Коллеж де Франс я заинтересовался ядерной изомерией, над которой работал практически в одиночку (пользуясь ценными советами моего второго учителя Ф.Жолио), движимый некоторыми своими теоре-

тическими идеями. Я предсказал существование стабильных (относительно бета-радиоактивности) ядерных изомеров и экспериментально нашел (1938 г.) первый пример: кадмий, возбужденный быстрыми нейтронами. Я предсказал, что переходы между изомерами, в общем, должны иметь очень большие коэффициенты внутренней конверсии, и независимо, но несколько раньше Г.Сиборга и Э.Сегре, занялся поиском и нашел (1938 г.) на примере родия, а также в других случаях, радиоактивные ядра нового типа в том смысле, что они распадаются, испуская монохроматическую линию электронов вместо обычного непрерывного бета-спектра. Наконец, совместно с А.Лазардом мне удалось получить (1939 г.) бета-стабильные изомеры (^{115*}In и другие) путем облучения стабильных ядер (^{115*}In и других) непрерывным спектром рентгеновского излучения высокой энергии (3 МэВ). Ф.Жолио очень понравился этот эффект, и он назвал его «ядерной фосфоресценцией». Я послал свою работу, посвященную «фосфоресценции», Ферми, который, хотя и не был человеком, склонным к похвале, поздравил меня «с отличным результатом исследования». Это долго доставляло мне огромное удовольствие, поскольку я был убежден, что Ферми (который в Риме привык называть меня «большим чемпионом») имел некоторое уважение ко мне только как к эксперту по теннису. За исследование изомерии я получил премию Кюри—Карнеги.

В Париже я женился на шведской девушке. У нас трое сыновей; старший родился в Париже, он сейчас физик; двое других родились в Канаде, один — океанолог, другой — инженер по электронной технике. Сегодня мы все живем в Москве и Дубне.

В 1940 г., после поражения Франции, я поступил на работу в частную американскую фирму и поехал в Оклахому (США), где в течение двух лет занимался реализацией геофизического метода зондирования нефтяных скважин, так называемого метода нейтронного каротажа, который до сих пор продолжает играть заметную роль в экономике нефтяных полей во всем мире. Кстати, нейтронный каротаж, мной изобретенный и реализованный на практике, занимает первое место в хронологии важных практических применений нейтрона (1941 г.). Денег, однако, я заработал очень мало, поскольку как раз когда посыпались выгодные предложения частных фирм, я решил принять предложение занять место исследователя в англо-франко-канадском атомном проекте, в котором работали многие известные ученые, с которыми я был знаком; среди них были К.Оже, Б.Гольдшмидт, Х.Халбан, Л.Коварский, Г.Плачек. По всей видимости, мне не суждено заработать деньги на патентах, изобретениях и прочих подобных вещах. Мое знакомство с нейтронами, обретенное на ул. Панисперна, существенно помогло мне во время работы на нефтяных полях и еще больше в период с 1943 по 1948 г., когда я работал в Канаде (сначала в Монреале, а потом в Чок-Ривере) над проектом и введением в строй ядерного реактора NRX (обычный уран и тяжелая вода) в качестве научного руководителя физического проекта. Этот реактор был спроектирован как исследовательский реактор на максимальную интенсивность и максимальный поток тепловых нейтронов, равный $6 \cdot 10^{13}$ см$^{-2}\cdot$ с$^{-1}$. Знание физики реакторов оказалось весьма полезным, когда я начал планировать эксперименты с целью зарегистрировать нейтрино и антинейтрино в свободном состоянии.

Как раз в Канаде я начал исследования в области физики элементарных частиц, которые потом были продолжены в России, куда мы с семьей переехали в сентябре 1950 г. (после короткого пребывания в Харуэлле в Англии).

Тогда, как и сегодня, я считал ужасно несправедливым и аморальным крайне враждебное в конце войны отношение Запада к Советскому Союзу, который за счет неслыханных жертв внес решающий вклад в победу над нацизмом; что же касается моих политических убеждений, я коротко коснусь их в конце этих заметок. С 1950 г. и по сей день я работаю в Дубне в качестве руководителя отдела экспериментальной физики в Лаборатории ядерных проблем.

Как только я узнал о классическом эксперименте М.Конверси, Е.Панчини и О.Пиччиони (1947 г.), из которого следовало, что взаимодействие мюона и протона не является сильным, я интуитивно почувствовал глубокую аналогию между мюоном и электроном, на что меня натолкнуло мое наблюдение, что процессы захвата этих частиц ядром имеют сравнимые вероятности (если принять во внимание разницу между объемами, которые занимают мюонные и электронные орбиты). Так, я тогда предсказал, что в процессе захвата мюона должно принимать участие нейтрино согласно следующей схеме: $\mu + p \to \nu + n$. Идея глубокой аналогии между различными процессами привела к понятию «слабого взаимодействия» и была выражена мной (1947 г.) и впоследствии О.Клейном и Г.Пуппи (1948 г.). Эта аналогия служит отправной точкой для универсальной теории слабых взаимодействий Ферми. Ведомый этой аналогией, я предложил и выполнил несколько экспериментов, в которых были установлены различные фундаментальные свойства мюона: установлено отсутствие процесса $\mu^+ \to e^+ + \gamma$; показано, что заряженная частица, испускаемая при распаде мюона, является электроном; показано, что при распаде мюона испускаются три частицы; найдено, что зависимость асимметрии электронов, испущенных поляризованными мюонами, от энергии соответствует теории двухкомпонентного нейтрино; доказана «нейтринная» природа нейтральных частиц, испускаемых при захвате мюона ядром (эксперимент выполнен с помощью регистрации и количественного анализа реакции $\mu + {}^3\mathrm{He} \to \nu_\mu + {}^3\mathrm{H}$, происходившей в диффузионной камере, наполненной ^{3}He). Первые три результата были получены (и отмечены премией Королевского общества Канады) в 1948—1949 гг. совместно с Э.П.Хинксом во время работы в Чок-Ривере с космическими мюонами, а последние два были получены в 1958 г. совместно с А.Мухиным и в 1961 г. совместно с Р.Суляевым и др. на пучках искусственных мюонов синхроциклотрона. Найденная величина вероятности захвата мюона в ^{3}He подтвердила исходную идею мюон-электронной симметрии. В эксперименте другого типа, выполненном в Дубне с искусственными мюонами, мы открыли (1959 г.) явление безрадиационных переходов в мю-мезоатомах — новое явление, в котором энергия $2P$–$1S$ мюонного перехода непосредственно возбуждает атомное ядро без испускания мюонного рентгеновского гамма-кванта, соответствующего этому переходу.

Все работы периода 1951—1954 гг. опубликованы в виде внутренних отчетов, некоторые из них были впоследствии опубликованы в открытой печати (1955 г.). В 1951 г. я заметил явное противоречие между большой вероятностью рождения

некоторых частиц (которые сегодня, кстати, называют странными) и их большим средним временем жизни и в 1953 г. независимо от А.Пайса предсказал закон ассоциативного рождения K-мезонов совместно с гиперонами. В одном моем эксперименте, выполненном совместно с Г.Селивановым и др. (1955 г.), было показано, что нуклоны с энергией 700 МэВ не вызывают реакций $N \to N + \Lambda^0$ и $n + n \to \Lambda^0 + \Lambda^0$, где n, N, Λ^0 обозначают нуклоны, нейтроны и Λ^0-гипероны. Отсутствие первой реакции противоречило ошибочному результату, полученному М.Шеиным и считавшемуся в то время правильным, и подтверждало закон, упомянутый выше; отсутствие второй реакции, хотя тоже противоречило эксперименту Шеина, подвело меня к заключению, что изотопический спин каона равен 1/2 (т.е. что K^0- и $\overline{K}^0$-мезоны не являются одинаковыми объектами).

Анализируя совместно с Л.Окунем осцилляции типа осцилляций между K^0 и $\overline{K}^0$, мы показали (1957 г.), что в слабых процессах первого порядка странность не может меняться более чем на единицу ($\Delta S \leq 1$).

В работе, выполненной вместе с Л.Окунем и В.Захарьевым уже в 1975 г. — раньше, чем были наблюдены мезоны, содержащие c- или b- кварки, мы предложили способ получения информации о смешивании кварков (подобно Кабиббо) и о возможном нарушении PC-симметрии в распадах таких мезонов. Сегодня, в 1988 г., наше предложение очень актуально и используется в экспериментах на накопительных кольцах при протон-антипротонных и электрон-позитронных столкновениях. Рассмотрим рождение пары нейтральных мезонов, сопряженных по заряду, например D^0 и $\overline{D}^0$, которые распадаются с испусканием мюонов. Если бы не было D^0–$\overline{D}^0$ осцилляций, мюонные пары были бы все «нормальные»: $\mu^+\mu^-$. Если же есть осцилляции, то рождаются также пары «аномальные»: $\mu^+\mu^+$ и $\mu^-\mu^-$. В общем, суммарное количество аномальных пар $N^{++}N^{--}$ дает информацию о смешивании, а разность $N^{++}N^{--}$ дает информацию о нарушении PC.

В 1959 г. я заметил, что нейтрино высоких энергий, испущенные при распадах пионов, рожденных на современных ускорителях, могут (и должны!) быть использованы для расширения наших знаний в области слабых взаимодействий, и в этой связи я предложил некоторые эксперименты. В частности, я показал, что можно экспериментально решить проблему, являются ли нейтрино, испущенные при распаде пиона (ν_μ), и нейтрино, испущенные в обычном бета-процессе (ν_e), тождественными частицами. Таким образом, моя работа «Электронные и мюонные нейтрино» (1959 г.) явилась началом физики нейтрино высоких энергий. Как известно, эксперимент, выполненный несколько лет спустя в Соединенных Штатах, показал, что существует по крайней мере два разных сорта нейтрино. Из-за отсутствия в то время в Советском Союзе адекватных ускорителей я не мог выполнить первые эксперименты на уровне слабых взаимодействий. Тем не менее совместно с В.Векслером и др. мы выполнили первое экспериментальное исследование, в котором использовались нейтрино высоких энергий (хотя и относительно низкой интенсивности): используя синхрофазотрон ОИЯИ, мы пытались обнаружить возможность существования аномального взаимодействия мюонного

нейтрино с нуклоном, т.е. пытались обнаружить реакцию $\nu_\mu + N \to \nu_\mu + N$ на уровне вероятности, на несколько порядков превышающем соответствующую вероятность слабых процессов. В работе, которая дала отрицательный результат, впервые было отмечено, что именно эксперименты такого типа, естественно, намного более чувствительные, должны дать ответ на вопрос о существовании или отсутствии так называемых нейтральных слабых токов. Как известно, существование нейтральных токов было открыто в ЦЕРН в 1973 г. в эксперименте, в котором были использованы интенсивные пучки нейтрино высоких энергий. За исследования в области физики слабых взаимодействий и нейтрино в 1963 г. мне была присуждена Ленинская премия.

Когда в конце 1950 г. я приехал в Россию, в Дубне уже некоторое время назад был введен в эксплуатацию синхроциклотрон, который в то время был самым мощным в мире. Теперь я коротко коснусь некоторых исследований в области сильных взаимодействий (1950—1976 гг.). Используя этот ускоритель, мы в сотрудничестве с Г.Селивановым впервые обнаружили и изучили количественно рождение нейтральных пионов в столкновениях нейтронов с протонами и в столкновениях нейтронов с различными атомными ядрами. За эти исследования в 1953 г. нам была присуждена Государственная премия. Итак, вместе с А.Мухиным и С.Коренченко я отдался экспериментальному исследованию взаимодействия между пионами и нуклонами, независимо, хотя и позже, подтвердив при этом то, что было с громадным успехом получено Э.Ферми и др. в Чикаго с пион-нуклонной системой, имевшей угловой момент 3/2 и изотопический спин 3/2. Вместе с моим сотрудником А.Куликовым позже (1976 г.) на большом серпуховском ускорителе (70 ГэВ) мы провели эксперимент,.давший отрицательный результат, в поисках ядерных изомеров плотности, существование которых возможно согласно идее пионной конденсации в ядрах. Наконец, я хотел бы упомянуть метод регистрации «прямых» нейтрино (т.е. рожденных не при распаде пионов и каонов, а при распаде частиц с очень коротким средним временем жизни), предложенный мной для изучения рождения новых частиц при столкновениях нуклонов с ядрами (эксперимент типа «beam dump»). Применения метода в случае рождения частиц с очарованием обсуждались мной (1975 г.) еще раньше обнаружения самих частиц с очарованием. И сам метод был использован при открытии (ЦЕРН) рождения частиц с очарованием в столкновениях нуклонов с ядрами.

Проблемам, связанным с массой нейтрино и нарушением лептонного заряда, я посвятил серию теоретических работ, в которых обсуждаются чрезвычайно маловероятные процессы, как, например, переходы мюоний—антимюоний, двойной бета-распад без испускания нейтрино (возможно, вызванный новым, сверхслабым, взаимодействием первого порядка, при котором лептонный заряд не сохраняется), процессы типа $\mu^+ \to e^+ + \gamma$, осцилляции между различными нейтринными состояниями. В моей работе «Мюоний и антимюоний» (1957 г.) впервые обсуждается возможность переходов $(\mu^+e^-) \to (\mu^-e^+)$, и эти рассуждения подтолкнули многих физиков к обсуждению различных форм, которые могло бы принять нарушение лептонного заряда. В той же работе я впервые рассматривал осцилляции между различными состояниями нейтрино, которые могут иметь место, если массы

нейтрино не все тождественно равны нулю. Над проблемой нейтринных осцилляций, которой я посвятил много теоретических исследований, я продолжаю работать и сейчас. Исследования осцилляций нейтрино, выполненные либо только мной, либо в сотрудничестве с С.Биленьким и В.Грибовым, открыли новые области исследования в физике частиц и в астрофизике и привели к зарождению большого количества теоретических и экспериментальных поисков во всем мире, причем действующими лицами были как искусственные нейтрино, полученные с помощью мощных радиоактивных источников, ядерных реакторов и ускорителей, так и естественные нейтрино, солнечные и космические. Подчеркну два момента, представляющих большой интерес:

1) большую чувствительность метода осцилляций нейтрино для обнаружения исключительно маленькой разницы между массами нейтрино;

2) решающее значение, понятое мной уже в 1967 г., существования или отсутствия осцилляций нейтрино для интерпретации будущих наблюдений солнечных нейтрино.

Электронные нейтрино ν_e, выходящие из Солнца, могут на своем пути к Земле превратиться в «стерильные» нейтрино, которые невозможно обнаружить с помощью детектора ν_e, что приведет к кажущемуся ослаблению интенсивности солнечных нейтрино. Такое ослабление зависит от количества нейтрино, от их массы и от углов смешивания. Огромное расстояние от Солнца до Земли и относительно низкая энергия нейтрино, испущенных Солнцем, приводят к тому, что в благоприятных случаях кажущееся ослабление потока солнечных нейтрино может, в принципе, быть определено, даже если разность квадратов масс регистрируемых нейтрино всего лишь 10^{-12} эВ^2!

Из своих исследований по астрофизике я хотел бы вспомнить следующие:

1) Работу «Универсальное взаимодействие Ферми и астрофизика», в которой я показал (1959 г.), что, благодаря упругому рассеянию $\nu_e + e \rightarrow \nu_e + e$, это взаимодействие обязательно приводит к астрофизически важным следствиям: в частности, звезды с очень высокой температурой и плотностью должны испускать нейтрино-антинейтринные пары такой интенсивности, что на определенном этапе в эволюции звезды нейтринная светимость намного превзойдет светимость оптическую. Что касается нейтральных слабых токов, обнаруженных в 1973 г. в ЦЕРН, я раскрыл (1963 г.) их роль в астрофизике задолго до того, как они были экспериментально обнаружены.

2) Феноменологическое рассмотрение (1961 г., совместно с Я.Смородинским) «нейтринного моря», выполненное до того, как А.Пензиас и Р.Вильсон сделали великое открытие (1965 г.) микроволнового космического излучения, которое естественно предполагает существование «реликтовых нейтрино».

3) Предложенный мной в 1946 г. принцип наблюдения нейтрино, основанный на радиохимии и, в особенности, на хлор-аргонном методе, который и сегодня является единственным методом, позволяющим детектировать солнечные нейтрино. Вплоть до 1946 г. невозможность регистрировать нейтрино в свободном состоянии была общепризнанной. Как раз в том самом году, однако, я предложил тип эксперимента, который давал возможность детектировать эти частицы. В то

время возможными источниками нейтрино были ядерные реакторы, очень мощные радиоактивные бета-источники и Солнце. Среди различных моих предложений, основанных на радиохимии, наиболее реалистичный так называемый хлор-аргонный метод состоит в облучении огромной массы хлора для наблюдения реакции $\nu_e + {}^{37}\mathrm{Cl} \to e^- + {}^{37}\mathrm{Ar}$. ^{37}Ar является радиоизотопом со средним временем жизни 30 суток, процесс *K*-захвата в котором, сопровождающийся испусканием рентгеновского излучения с энергией 2800 эВ, может быть зарегистрирован в счетчике Гейгера—Мюллера или в пропорциональном счетчике. Сам факт, что рассматриваемый радиоэлемент является благородным газом, позволяет относительно простыми средствами отделить от огромной массы хлора, облученного нейтрино в подземной лаборатории, те немногие атомы ^{37}Ar, которые должны быть введены в счетчик. Большой успех в регистрации нейтрино, идущих от Солнца, является в основном заслугой Р. Дэвиса, который, применяя хлор-аргонный метод, ценой героического многолетнего труда достиг цели в середине 70-х годов. Признаюсь, я испытываю некоторую гордость за свой личный вклад в зарождение нейтринной астрономии Солнца. Тем не менее по неизвестной мне причине, если судить по недоброжелательному отсутствию ссылок, моя работа игнорируется. Это несправедливо, поскольку все мои работы, теоретические и экспериментальные, относящиеся к нейтринной астрономии Солнца, собранные вместе, вне сомнения оказали решающее влияние на развитие этой новой области исследований. Я прекрасно сознаю, что рискую выглядеть смешным, оставляя в стороне скромность, но я все равно попробую. В конце концов, я:

1) изобрел радиохимический принцип обнаружения нейтрино (1946 г.), примерами которого служат Cl–Ar-метод, а также развиваемый в настоящее время Ga–Ge-метод;

2) предложил конкретно Cl–Ar-метод, который заведомо является наиболее осуществимым радиохимическим методом регистрации нейтрино;

3) рассмотрел, начиная с самой первой работы, возможность регистрации солнечных нейтрино (1946 г.);

4) экспериментально доказал осуществимость Cl–Ar-метода, после того как осознал необходимость использования вместо счетчика Гейгера—Мюллера пропорционального счетчика, измерение амплитуд импульсов которого позволяет отделить от шумового фона истинные события *K*-захвата в ^{37}Ar, образованном нейтрино в хлоре (1949 г.);

5) развил с этой целью технику пропорциональных счетчиков, используя их с огромным коэффициентом размножения в газе, так что достигнутая чувствительность была всего лишь несколько пар ионов;

6) создал пропорциональный счетчик с достаточно низким эффективным уровнем шума при регистрации нейтрино Cl–Ar-методом (1949 г.);

7) предложил измерять не только амплитуду, но и форму импульса пропорционального счетчика с целью дальнейшего уменьшения эффективного фонового шума (1968 г.);

8) поднял вопрос (1967 г.) о значении нейтринных осцилляций (и соответственно масс нейтрино) для нейтринной астрономии Солнца;

9) поднял и обсудил (1971 г.) еще до открытия третьего поколения лептонов (тау) вопрос о важности существования тяжелых лептонов для нейтринной астрономии Солнца;

10) предсказал (1967—1969 гг.), как более или менее естественный эффект, дефицит числа регистрируемых солнечных нейтрино, который был впоследствии установлен Р.Дэвисом и Дж.Бакалом и известен под названием «загадки солнечных нейтрино».

Здесь кончается этот нелепый список: в его появлении я виню синдром Паркинсона, который временами играет со мной плохие шутки. Итак, я разрядился. Впрочем, я пишу для очень узкого круга физиков, моих знакомых. Суммируя все, я надеюсь, что эти строки увидят свет. Кстати сказать, используя счетчики, упомянутые выше, мы с Г.Ханна выполнили первое наблюдение (1949 г.) ядерного L-захвата (в ^{37}Ar, всего 10 пар ионов!) и первое измерение (1949 г.) бета-спектра ^{3}H, из которого можно было тогда заключить, что масса $\nu_e < 500$ эВ.

Возвращаюсь к синдрому Паркинсона. Болезнь началась в 1978 г. До того времени у меня было отличное здоровье и спорт и путешествия были моим любимым времяпровождением. Я прилично играл в теннис и имел первый разряд. Я был одним из зачинателей и пропагандистов подводного спорта в России. Занимаясь подводной охотой, я погружался на глубину до двенадцати метров не только в Черном море, но также и в Тихом океане в весьма экзотических местах, куда можно было добраться только на вертолете или военно-морском судне для чтения лекций пограничникам. Я был страстным любителем водных лыж.

Я придерживался левых политических убеждений. С самого начала это было связано прежде всего с моей ненавистью к фашизму и, как я теперь думаю, с чувством справедливости, привитым мне отцом. С середины тридцатых годов вплоть до семидесятых мои представления определялись категорией нелогичной, которую я сейчас называю «религией», каким-то видом «фанатичной веры» (которая уже отсутствует), гораздо более глубокой, чем культ какой-либо одной личности. Сегодня я уверен, что так называемая «перестройка» — это действительно революционный путь (даже если во многих аспектах его еще предстоит освоить), на котором в Советском Союзе будет создано при свете открытости и искренности социалистическое демократическое общество, основанное на передовых законах и правах человека.

Я член Коммунистической партии Советского Союза, сопредседатель общества «СССР—Италия». Награжден орденами и медалями. Являюсь членом и почетным доктором различных обществ и университетов. Действительный член Академии наук Советского Союза (с 1958 г.) и иностранный член Академии деи Линчеи (с 1981 г.). Вплоть до последних двух лет я заведовал кафедрой физики элементарных частиц Московского университета. Я считаю, что педагогическая деятельность приносит не меньшую пользу тому, кто преподает, чем тому, кто учится. Я написал книгу о Ферми и руководил изданием на русском языке полного собрания трудов Ферми, которое сопроводил множеством комментариев в надежде передать читателю атмосферу работы римской школы физики.

В 1978 г. в связи с семидесятилетием Эдоардо Амальди я вернулся в Италию на несколько дней после долгих 28 лет отсутствия! У меня нет слов, чтобы

описать эмоции, которые я испытал, когда вновь оказался в Институте физики Ферми и Амальди, Разетти и Сегре, Майораны и Вика... Впоследствии я приезжал в Италию почти каждый год и на значительно более длительное время. Я нашел страну совершенно отличной от той, в которой жил прежде. Вот самые первые впечатления. Италия полна не только иностранных туристов, но и иностранных рабочих, среди которых много цветных. Нет больше голода, нет портретов дуче, нет пыли в маленьких городах, автострады в отличном состоянии и напоминают американские. Но движение автотранспорта, насыщенное, но терпимое еще в 1978 г., сегодня в Риме стало невыносимым. Забыта организация общественного транспорта; автобусы и такси (когда их находишь) движутся как улитки, а метро практически отсутствует. Кроме того, к моему стыду, я впервые, в возрасте 65 лет, был поражен прелестью маленьких итальянских городов, которые, как и тройку великих (Венецию, Флоренцию, Рим), я вновь посетил: Пизу, Лукку, Сиену, Сан-Джиминьяно, Урбино, Губбио, Ассизи, Монтепульчано, Орвието, Совану...

Бруно Понтекорво в воспоминаниях

BRUNO PONTECORVO'S LEGACY

G.Salvini
President of Accademia dei Lincei, Rome

In this last year 1993, which arrived and has passed by in a turmoil of limited wars and great dangers all over our planet, three Italian physicists of wide international reputation passed away. They were all over eighty years of age and their names will remain forever in the advanced books of fundamental physics in every library in the world.

They had many qualities in common, genius in creating new methods of experimental observation and making new discoveries, intellectual honesty and generosity towards their pupils. I must say that their lives reflect, although in different ways, some troubles and contradictions of my country in this century, especially in the period 1925—1950, a troubled time for all of them in which they had to find solutions for their lives, or for the survival of their families.

The main plague was fascism and war, to which they reacted in different ways. Bruno Rossi had to leave Italy just when he had successfully started up a great school of cosmic rays in Padova; Giuseppe Occhialini wandered through Europe and South America, making fundamental discoveries on the electron-positron pairs together with Blackett, contributing with Powell in Bristol to the discovery of the pions or π mesons. As for Bruno Pontecorvo, this talk of mine is dedicated mainly to him.

The case of Bruno, a real scientific genius, is quite dramatic, and it is one case which combines real scientific vision, strength of ideology and even charity towards human kind.

I do not pretend to make any synthesis of Bruno's life in these twenty minutes, but let me recall a few points which contribute to Bruno's choices and behaviour.

The points I would like to recall are: first, his decision to go to Russia in 1950; second, his anticipations in the discovery and understanding of weak interactions and neutrino physics; third, his opinions on the future of high energy and, in particular, on the construction of a new European or world big accelerator. These points also indicate his continuous interest in the future of basic physics even during the last period of his life.

1. From the West to the East

Bruno Pontecorvo came back to Italy from abroad and reached the Soviet Union in September 1950, passing through Finland. His disappearance was considered as an

© G Salvini, 1997

escape from one type of civilisation to another. In fact this was true, but let me say, as Fermi underlined, that he did not take with him any deep secrets regarding military weapons. In fact he was not a part of any military system or military research programme through personal choice, and ever since his youth and throughout his whole life he was against any type of military weapons.

The very fact is that he was a convinced believer in communism as inspiring and ruling over the world, like one can be convinced of a religious «credo». I use this expression for he himself told me that he was a firm believer in the «verb» as coming from Stalin, Molotov and the others. This he told me in 1990 while staying in Rome, very often in my studio. He also told me that by this time he was no longer sure and convinced, but that it took time to discover that this «credo» was inconsistent and even wrong economically and ethically. When he came back to Italy for the first time he had already changed his mind and he only continued to be absolutely against weapons, and atomic weapons in particular. He used the comparison with religious feelings when he spoke to me of his choice.

We cannot forget, after more than thirty years, the wake of bitterness and wounded disappointment that his decision to go to the Soviet Union with his family left in the scientific community in Europe and the United States. He went through all this, for he could not suffer the growing struggle between western society and the communism system, after more than twenty million dead in a war they fought together for common ideals. Yes, he said, he saw Moscow at the end of his flight as the *promised land.*

There he became an influential personality and teacher. For some 20 years he headed the elementary particle physics section at Moscow State University. His presence during discussions of new ideas or results created fertile ground for new research challenges. Especially significant was his fruitful contribution to the creative atmosphere and development of research fields at the Joint Institute for Nuclear Research in Dubna, where he worked, and at the Institute of High Energy Physics in Protvino, with which he had close contact.

2. Pontecorvo's Discoveries and Suggestions in Neutrino Physics

It is typical of the character and insight of Bruno Pontecorvo to suggest and to anticipate experiments and results which were at least ten years ahead of the times. Still, his suggestions proceeded with precision and details which make them neither vague nor impossible, but rather as already belonging to the real times (I will come back later to this question of «real time» as defined by Bruno Pontecorvo). In the following I will mention what allows me to make this statement.

First I recall his proposal to make the experimental observation of the neutrino. The basis of his proposal was the «inverse beta process»: if neutrinos are produced, they must also be able to produce the particles which created them. The difficulty was technical and bound to the limited capacity of man to make a huge effort for a result which could only interest basic science. Now, after the realisation of the atomic reactor, Pontecorvo said, we could have a huge flux of neutrinos, enough to collect some examples of inverse beta decay.

The presentation of a scientific paper by Bruno Pontecorvo always started with a simple, basic language. He said many times that this habit of simplicity right from the start was one of the great teaching of Enrico Fermi. I will read just a few lines of his article (1946) to illustrate this point [1].

«It is clear that inverse β transformations produced by neutrinos are processes of this type and certainly can be produced by neutrinos, if neutrinos exist at all. They consist of the concomitant absorption of a neutrino and emission of a β particle (positron or negatron) by a nucleus. It is obvious, on thermodynamical grounds, that such processes must have an extremely low yield since their inverse, the β process, is so unlikely. It has been currently stated in the literature that an inverse β process produced by neutrinos cannot be observed, due to the low yield. As it will be shown below, this statement seems to be too drastic.»

As for the proposed method he says in the same report:

«The essential point in this method is that radioactive atoms produced by an inverse β-ray process have different chemical properties from the irradiated atoms. Consequently, it may be possible to concentrate the radioactive atoms of known period from a very large irradiated volume.»

As for the sources of neutrinos he suggests:

«The neutrino source is the pile itself, during operation. In this case, neutrinos must be utilized beyond the usual pile shield. The advantage of such an arrangement is the possibility of using high-energy neutrinos emitted by all the very short-period fission fragments. Probably this is the most convenient neutrino source.»

As you know, the evidence of the existence of neutrino's was given in 1956 [2]. The actual experiment was carried out with equipment located near one of the reactors at the Savannah River plant, using the reactor's $\bar{\nu} + p \to \beta^+ + n$.

Pontecorvo's second anticipation regarded the possibility of establishing the existence of (at least) two types of neutrinos. The idea was contained in the paper: «Electron and Muon Neutrinos» [3].

The fundamental value of this article was recognized by Schwartz in his important paper of 1960 [4]. In his note he added as proof: «The author's attention has been called to a somewhat related paper which has just appeared.»

The discovery of the existence of two kinds of neutrinos came in 1962, in a fundamental paper [5]. The announcement was very simple:

«In the course of an experiment at the Brookhaven AGS, we have observed the interaction of high-energy neutrinos with matter. These neutrinos were produced primarily as the result of the decay of the pion:

$$\pi^{\pm} \to \mu^{\pm} + \nu/\bar{\nu}.$$

It is the purpose of this letter to report some of the results of this experiment including 1) demonstration that the neutrinos we have used produce μ mesons but not produce electrons, and hence are very likely different from the neutrinos involved in β decay and 2) approximate cross sections.»

The value and lucidity of Bruno Pontecorvo's anticipations were well presented in this paper. The main authors received the Nobel Prize in 1990 as acknowledgement of their discovery.

Bruno was extremely interested in the problem of the number of neutrino types, their mass and their unity within the framework of a single force or a single theory: the electroweak theory. I quote here from his authobiography [6]:

«As soon as I was informed of the classical experience of M.Conversi, E.Pancini and O.Piccioni (1947), from which it appeared that the interaction of the muon with the nucleon was not strong, I perceived a deep analogy between the muon and the electron. This came to me through my observation that the processes of nuclear capture of these particles have a comparable probability (if one bears in mind the muonic and electronic difference in the volumes of the orbit). So I then foresaw that in the process of the capture of the muon the neutrino must be involved according to the model: μ + proton $\rightarrow$ neutrino + neutron. The idea of the deep analogy between the different processes leads to the notion of «weak interaction» and it was expressed by me (1947) and then by O.Klein and G.Puppi (1948). The analogy is the starting point of the universal theory of Fermi's weak interactions.»

Pontecorvo spent many years analysing the problem of the mass of the neutrinos (to date it has not been excluded that the mass could be zero). This brought him to suggest experiments to search for neutrino oscillations. We knew the tremendous interest today in the problem of the stability and coherence of our universe. The studies of the oscillations are being carried out with neutrino beams from reactors, from accelerators, in the Sun and on our Earth. The origin of this «oscillation philosophy» can be found perhaps in Pontecorvo's and Bilenky's papers.

In the quoted book edited by Winter, S.Bilenky wrote [7]:

«The hypothesis of neutrino mixing was put forward by B.Pontecorvo in the late 1950's, immediately after the V–A theory was formulated. Only one type of neutrino was known at that time. Afterwards, the hypothesis was extended to the case of two and more types of neutrinos. After the formulation of unified gauge theories interest in lepton mixing began to increase. In fact, mixing of fields is a natural consequence of these theories and it is related to the mechanism of spontaneous symmetry breaking.»

Let us listen to the words from the «autobiographic notes», as published by Bruno himself:

«In my work on muonium and antimuonium the possibility of transitions $\mu^+e^- \rightarrow \mu^-e^+$ was considered. In this same work were considered for the first time the possible oscillations between different neutrino states, which may happen only when the masses of all neutrinos are not all equal to zero.

I have been working for many years and still am now (1988) on the problem of neutrino oscillations, mostly with S.Bilenky and V.Gribov. These possible oscillations opened new fields of research in astrophysics and elementary particle physics. The protagonists in the research are the neutrinos produced in intense radiation sources, both nuclear reactors and accelerators, as well as natural neutrinos, from our Sun and from cosmic space.

I can underline two points of great interest: 1) The great sensitivity of the methods of oscillations, to give evidence to very small mass differences. 2) The great importance (1967) of establishing the existence or not of oscillations, to interpret the results of future neutrino observation from the sun. The great distance between the

Earth and the Sun and the low energy of solar neutrinos could make it possible to interpret the weakening of the neutrino flux as due to square mass differences as low as $\sim 10^{-12}$ eV^2.»

I have only reported a few notes to recall his great capacity of anticipation in physics, as I said. Bruno Pontecorvo was rather ignored in the fifties because of the difficult relations between East and West. This is obviously connected to his choice. I insist again that his choice was dictated by human problems and did not have any consequence on military difficulties and military preparations. In fact, wherever he was in the world, his activity can be considered a contribution to peace, starting with his peaceful scientific discoveries.

As a matter of fact, we in the West were not well informed of what was happening in the Soviet Union in the 1950's. Let me only recall the wonder of my friends E.Amaldi and M.Conversi when they came back from a first visit to Russia in 1956 with the news that there was a synchrocyclotron (the biggest in the world) working in Dubna, with Pontecorvo in charge of research. It was for many of us a wonder similar to the «beep-beep» we heard from the sky, from the first satellite which was launched in space, the Sputnik, in 1957, by the Soviet Union.

Still I can say that in these fifties scientific relations between Italian and Russian physicists were continuous and intense at a friendly constructive level in a number of fields. I well remember the cooperation in the study and realization of electron accelerators between Frascati and Novosibirsk. Please remember these links in basic research during these difficult years: economical and political differences will pass and change in a few years, but scientific understanding has its roots in all centuries, from the famous European architects in St. Petersburg and Moscow to Bruno Pontecorvo in Dubna.

3. The Tragedy of the SSC

The third point I wish to recall is the dramatic decision to close and bury the SSC, the great Superconducting Collider of 20 + 20 TeV, which was under construction in Texas.

I do not have to recall this recent decision, which has made physicists thoughtfull all over the world.

At the end of 1993 (I am quoting from an article in Physics Today, November 1993):

«Congress allocated 640 million dollars for its orderly termination. The death of the SSC is both a human and scientific tragedy, affecting the personal and professional lives of some two thousand people already at work at the laboratory's site or at the offices in Dallas. This number includes about 200 physicists, most of them relocated from Energy Department laboratories and from universities in the USA, as well as from labs and universities in eastern and western Europe and elsewhere ...... Without an SSC the continued vitality of the US high energy programme is in grave peril. ... The High-Energy Physics Advisory Panel (HEPAP) was asked explicitly to weight the possibility of international collaboration with CERN.»

This point, i.e. the collaboration with CERN, together with the preoccupation that two big machines at the same time were a wrong programme, considering the ambitions and necessities of other physicists in the world engaged in different fields of physics, was something which worried Bruno and, I must say, myself during 1990.

It is not odd that Bruno Pontecorvo immediately found very strange the idea that the world should have two big accelerators of high cost at the same time, I mean LHC and SSC. In fact he thought that a world programme in experimental physics, to be developed in the next twenty years, perhaps in collaboration with Russia and other continents, was the most convenient procedure. Bruno was stimulated by the discussions we had in Rome during the 1990's and when he went back to Russia he considered it convenient to ask also for the advice of the Russian Academy of Sciences on the best policies for the future of world high energy science. I wrote a letter to him, on April 1990, inviting him to express his opinions on the matter, and to ask the opinion of other colleagues. The documentation of all this can be found in the article Bruno Pontecorvo wrote in September 1990: Progress in Particle Physics Research and Reality [8].

In this article he reported part of my letter to him, which really reflected our common discussions. Let me quote from his article:

«It is funny how association of ideas works at times. A few days ago I saw the film «Crimes and Misdemeanours» of Woody Allen — a figure entirely unknown to me previously. I liked the film very much. There are in it a few expressions which, strange as it may seem, are associated in my mind with some of Giorgio Salvini's words about Present and Future in Collider Physics, words which he had expressed in a letter confirming our previous conversations and sent to me a few months ago. Thus it is thanks to this film that at our conference I am going a talk and with the title it has. The point at issue of the movie is (I am quoting freely) that «living one's past is even more painful than the past itself, whereas the most important thing is living in real world». Since in his concluding talk at this conference Giorgio is not going into details about the considerations he made in his letter to me of April 6, 1990 (archive Lincei), I shall read part of it now:»... In the present letter personal views are expressed, which are not officially accepted by the INFN, CERN, etc., although I know that such competent bodies are not against the ideas I am expressing...

...At present, the LHC collider at CERN is at a very advanced stage. This is a collider that is to be installed inside the same ring as LEP and in which the maximum available energy will be 16 TeV. This machine will certainly suffer some delay, since the financial expenses of, say, 2 milliard dollars have not yet been covered.

The date for completion of the project can be set to be 1997 according to the most optimistic estimates. As you also know, there is a project of a similar 40 TeV collider (20 TeV + 20 TeV proton energy) at a quite advanced stage in the USA. This machine could be ready by 1998—2000. The energy available is higher, and the cost of the collider will be about three times that of the LHC.

You are well aware of the scientific reasons underlying such projects. These reasons are very similar for both machines: the search for heavy quarks such as the

top; the investigation of new symmetric particles; observation of the Higgs particles, etc.

The effort of the European and American physicists in these two directions will slow down developments in other directions, especially in the studies for realising a linear electron-positron accelerator. I think that these simultaneous developments are also due to an excessive prestige competition between America and Europe, and I was thinking whether there could exist some alternative aimed at rendering the development of our studies more efficient and progressive, without reaching the top of ten thousand million dollars in eight years, which could well slow down for many decades whatever further developments.

The alternative I am proposing would be the following: the LHC machine would be financed, in addition to the Europeans, by the Americans and possibly also by the Soviet Union. Thus this machine would, in a certain sense, become internationalized, implying equality of rights and flags.

We would declare that once again the Americans and the Russians have come to the help of Europe, as in the case of the landing in Normandy, but this time without any buttle, expressing a wonderful spirit of peace and collaboration. The other, American, machine SSC would certainly not be dismissed, but its construction would be only delayed in time. Actually, the results of common studies at the LHC during 1997—2000 would make it possible to take a decision on how it should be built and up to what energy it should be pushed. We might find a new convenient limit, of, for example, 2×40 TeV. This would probably be the last machine in the world. We, Europeans, and most likely, the physicists of the Soviet Union would find no difficulty in establishing, for instance, in Texas a new World Centre for Elementary Particles in the same spirit with which we will have worked at CERN in the years 1997—2000.

The programs of studies at these new colliders are, of necessity, still quite vague, let alone a few basic ideas, so proceeding through two successive steps may turn out to be convenient.

Such a procedure would permit to go on with studies for the electron-positron accelerator from one up to two TeV. It is my opinion that the results from SLAC at Stanford (single linear 2×50 GeV electron-positron collider) have revealed the validity by the insufficiency of technical staff and by difficulties in financing. But the line of electrons is one of high validity and is to be followed. The study of these accelerators will require big investments, which could be made available only through saving on the two proton colliders (if their construction is shifted in time with respect to each other)...»

Bruno's article continues:

«Concluding I must say that Giorgio's alternative seems to me quite a positive suggestion. In my opinion he is indeed «living in the real world». Among Europeans (West and East) the alternative suggested is generally appreciated as confirmed by conversations I had with many well known and influent scientists from the URSS and the JINR. However there are quite a lot of doubts as to whether the Americans, not only politicians but also physicists, would agree with it.

The participants at this conference may be interested to hear that both Giorgio Salvini and I would welcome now an American discovery, let us say of the top quark at the Fermilab, as this might appease their hunger for prestige.»

As you see, Bruno's reply, after having spoken with other Academicians in Russia, was in favour of a policy which foresaw the building of LHC first and waiting a while to realize the big accelerator, even bigger than the present SSC, as a global facility which could even have been placed in the United States. It was not impossible in principle to think of some other global initiative, for instance, in space research, which could have been in the Soviet Union or Europe.

It is remarkable that these views were already expressed by him in 1990. He never publicized his opinions too much, so as not to be responsible for a failure. But now the failure has come and let me use the words of Pontecorvo in the right sense, that is, as an invitation of vigorously continue studying the basic laws of physics in weak, strong, electromagnetic interactions. This interest of Bruno's in these accelerators was also clearly connected to his continuous interest in weak interactions, in neutrino physics, in astrophysics. He was well aware, for instance, of the problem of dark matter and he said that the elementary nature of dark matter could emerge from the results of new research at the highest possible energies (photinos, gravitinos, WIMP).

We had the occasion to discuss the pros and cons of such a programme:

— to join our ideas in a common goal which was of fundamental interest for human kind;

— to bring together astrophysics and space physics; of course a space programme elsewhere could have been the counterpart of building SSC (intercontinental) in the USA. Men of different origin and ethnics, but linked by a common agreement on what constitutes scientific truth and natural research, will be more easily convinced that man is still at the beginning of his knowledge, although much more advanced than in the seventeenth, much less than he will be in the twenty-fourth century.

The fact that we risk making one single experiment with eight hundred undifferentiated authors should be studied, by carefully sharing competence and responsibilities and avoiding attaching our single name for years to the same project. We have come to understand in these years that one spokesman can be rotated, and there is more than one person of top originality in the world who can rotate the responsibility. The last years of high energy (LEP) have dramatically shown the problems that arise when too much managerial scientific power is concentrated into two single hands for a number of years.

— Among the intercontinental collaboration — not only Russia and the USA and Europe — we could recall the possible contribution from countries rich in historical experience. For instance like the preparation by BGO in China for the calorimetry at LEP (experiment L3).

After all this, Pontecorvo and I asked ourselves: what would be the advantages if we maintained the solution of two contemporary accelerators? So, we thought:

— competition and personal and national ambition is certainly a strong push in getting clear results;

— competition between different machines can be the best way to suggest further experiments, if we bear in mind — and this we do — that we are only at the beginning in our knowledge of the universe.

Those agreements were also valid and for two years kept us from insisting in stopping the race between Europe and America.

But two months ago the SSC case exploded in all its power and at this point, this programme of Bruno's must be considered very actively.

After 1990 Bruno and I saw the world situation steadily worsening. He thought that any possible initiative, which had a real possibility of not being against any privilege or advantage of another nation, should be undertaken.

This entire programme, I am sure I am interpreting Bruno's thoughts, is valid the more it is accompanied by real interest in unknown facts, discoveries, the primordial wish to know more. This was the case and conviction of persons like Bruno and this episode starting from the SSC is one example of Bruno's philosophy: the absolute necessity of experimental facts, to be diffused all over the world for the advantage of natural philosophy. Fermi was his model, when thinking: nature is more «creative» and original than our thoughts.

But now I must report the end of Bruno Pontecorvo's article [8], which will seem unexpected to some of you:

«Talking about "living in the real world", I would like to mention that sticking to reality in experimental physics was a necessity for Enrico Fermi, a genius of great common sense. What distinguished Fermi experimentator from other great experimentators of our time? I would say: the love for simplicity. Relying on his theoretical knowledge he was extremely clever in selecting problems which he was able to solve with the help of simple but adequate experimental apparatus. Of his apparatus he required that it workes properly and nothing more. He was not affected by aesthetical considerations. I remember an amusing episode.

Once Fermi had constructed with own hands a rather ugle experimental apparatus (I do not remember which). Franco Rasetti, a high class experimentator for whom Fermi had great esteem, and who, contrary to Enrico, was sensitive to aesthetical requirements in experimental physics, started to criticise the quality of Fermi's apparatus. «But it is working properly», Enrico replied. At this moment Franco very excitedly said to Fermi: «Enrico, in experimental physics you are capable of doing awful things. Look at the Edelman electrometer (Franco indicated a German electrometer, beautiful and chromium plated, representing at Via Panisperna the non plus ultra of technical progress). You could soil it with "sangue di pollo" ("chicken blood", so we called a reddish and disgusting clay used in the Lab.) without suffering, whereas I could not do it even if I were sure of getting the Nobel Prize for that». Enrico quietly said: "Well, I would bathe all our electrometers in 'sangue di pollo' if by doing so I could learn something I did not know"».

I report here these lines as an extreme example of Bruno's philosophy: the importance of new knowlegde, the importance of arriving at the unknown, even at a high price; but at the same time with full respect for every man, in every country, and a fundamental distaste for weapons.

I stop here. Bruno was a generous man, with original and unexpected thoughts. To get the real depth of them is not an easy task and requires some meditation. This, too, is part of his legacy.

REFERENCES

1. From the report PD-205 of the National Research Council of Canada, Division of Atomic Energy, Chalk River, Ontario, November 13, 1946 (Reported in Neutrino Physics / Ed. Klaus Winter, Cambridge University Press, 1991, p.25).
2. *Cowan C.L. Jr., Reines F., Harrison F.B., Kruse H.W., McGuire A.D.* // Reported from Science, July 20, 1956, vol.124, No.3212, p.103-104. Previous attempts were made in 1953.
3. *Pontecorvo B.* // Sov. Phys. — JETP, 1960, vol.37 (10), p.1236-1245; Sov. Phys. — JETP, 1959, vol.37, p.1751.
4. *Schwartz M.* // Phys. Rev. Lett., 1960, vol.4, No.6. (submitted February 23, 1960).
5. *Danby G. et al.* // Phys. Rev. Lett., 1961, vol.1, p 35-44.
6. Enciclopedia Mondadori della Scienza e della Tecnica, E.S.T.
7. *Bilenky S.* // JINR, Dubna, Neutrino Physics / Ed. Klaus Winter, 1991, p.177.
8. *Pontecorvo B.* // Proc. Conf. Present and Future of Collider Physics, Bologna, 20—22 September 1990, SIF, vol.30, 1991, p.359.

ВОСПОМИНАНИЯ И РАЗМЫШЛЕНИЯ О БРУНО ПОНТЕКОРВО

С.С.Герштейн

Институт физики высоких энергий, Протвино

Я пишу эти воспоминания — и передо мной как живой возникает Бруно Максимович с его неизменной улыбкой, юмором, интересом к людям, жаждой новых знаний, с его тактом и глубокой демократичностью, благодаря которой он совершенно одинаково мог говорить и с людьми самого высокого положения, и с рабочими из мастерских, с его нетерпимостью к любой фальши и особенно к профанации науки, с его готовностью оказать всяческую поддержку новым интересным экспериментальным исследованиям.

Бруно Максимович принадлежал к той замечательной плеяде физиков, трудами которых были заложены основы современной ядерной физики, ядерной энергетики и технологии, физики элементарных частиц.

Хорошо известно, что именно опыты, которые проводил молодой Понтекорво совместно с Амальди в группе Ферми, послужили толчком к открытию замедления нейтронов — эффекта, лежащего в основе работы современных ядерных реакторов, производства многих важных изотопов, сыгравшего (и играющего) важную роль в физических исследованиях.

Именно Понтекорво в 1946 г., когда были получены первые сведения о сравнительно большом времени жизни мюонов в веществе, предложил гипотезу об универсальном характере слабых взаимодействий — новой силы Природы, единственным известным проявлением которой до этого был радиоактивный β-распад. Именно Бруно явился отцом экспериментальной нейтринной физики, выдвинув в 1946 г. идею о возможности регистрации свободного нейтрино от ядерных реакторов и разработав для этой цели радиохимический (в частности так называемый хлор-аргонный) метод детектирования ядерных реакций, вызываемых нейтрино.

В своем знаменитом отчете лаборатории в Чок-Ривере в Канаде Бруно пророчески коснулся и других аспектов нейтринной физики, упомянув в качестве возможных источников нейтрино Солнце и ускорители. Эти идеи Бруно, как мне кажется, явились отражением его человеческих качеств — необычайной научной смелости и широты. Действительно, в то время мало кто верил в осуществимость таких опытов. Даже Э.Ферми, как вспоминает Бруно, отнесся весьма прохладно к идее регистрации нейтрино, заинтересовавшись больше техникой пропорциональных счетчиков, развитой Понтекорво и применявшейся им в ряде исследований («Дон-Кихот не был героем Ферми», — замечал в этой связи Бруно).

Идеи и расчеты Бруно подтолкнули эксперимент. Когда была разработана техника больших сцинтилляторов (которой не существовало в 1946 г.), оказалось возможным прямое детектирование нейтрино, что и было осуществлено Райнесом

© С С Герштейн, 1997

и Коуэном в 1953—1956 гг. Хлор-аргонный метод был впоследствии развит Дэвисом. С помощью него было впервые установлено, что антинейтрино не тождественны нейтрино, и зарегистрировано нейтрино от Солнца.

В то время, когда Бруно выдвигал свое предложение о регистрации нейтрино, было неизвестно, что цепочка термоядерных реакций, происходящих в Солнце, может (хотя и с довольно малой вероятностью) приводить к образованию ядер ^7Be и ^8B, которые являются источниками довольно энергичных нейтрино, способных вызывать хлор-аргонную реакцию: $\nu + {}^{37}Cl \to {}^{37}Ar + e^-$. Именно эти нейтрино и были зарегистрированы Дэвисом с помощью предложенного Бруно хлор-аргонного метода. Что же касается основного потока солнечных нейтрино, происходящих от слияния двух протонов в дейтерий с испусканием позитрона и нейтрино, то ввиду малости энергий этих нейтрино Бруно не видел в 1946 г. возможности их регистрации. Оказалось, однако, что предложенный им радиохимический метод годится и для этой цели*.

Результаты экспериментов по регистрации солнечных нейтрино находятся сейчас в центре внимания физиков всего мира. Это связано с еще одной блестящей идеей Понтекорво. В 1957 г. он указал на возможность нейтринных осцилляций. Оказалось, что нейтринные осцилляции могут быть тесно связаны с великим объединением различных взаимодействий при сверхвысоких энергиях. Поиски нейтринных осцилляций уже много лет ведутся в различных лабораториях мира на реакторах, ускорителях, мезонных фабриках, составляя важную часть программы исследований. Однако, как указал Понтекорво, только солнечные нейтрино (вследствие огромного по сравнению с земными масштабами расстояния от источника) дают возможность продвинуть исследования в совершенно недоступную для земных экспериментов область малых значений масс нейтрино. Именно таких значений масс нейтрино можно ожидать на основе моделей великого объединения. Поэтому когда в первых экспериментах по регистрации солнечных нейтрино было обнаружено уменьшение их потока в два-три раза по сравнению с расчетами, Понтекорво первый высказал мысль, что это может быть связано именно с нейтринными осцилляциями, переводящими электронное нейтрино в другие, «стерильные» состояния, не вызывающие ядерных реакций.

Сейчас, после замечательной работы С.Михеева и А.Смирнова, в которой было показано, что учет когерентного рассеяния нейтрино в веществе (рассмотренного Л.Вольфенштейном) может значительно усилить нейтринные осцилляции при малых разностях их масс и малом смешивании (и даже привести к полному переходу нейтрино в «стерильные» состояния), идея Б.Понтекорво является

*Как указал впоследствии В.А.Кузьмин, нейтрино от основной солнечной реакции могут быть зарегистрированы по вызываемым ими переходам ядер галлия в ядра германия. Для регистрации этих нейтрино понадобилось 30—60 тонн галлия В 1946 г, когда сама идея регистрации даже реакторных нейтрино казалась фантастикой, трудно было думать о таких количествах галлия, вся мировая добыча которого была на уровне десятка тонн. Только расширение масштабов физических исследований позволило осуществить эти опыты в двух подземных лабораториях: Баксанской нейтринной лаборатории в совместном российско-американском эксперименте SAGE и в лаборатории Гран-Сассо в Италии.

наиболее правдоподобным объяснением результатов галлиевого, хлор-аргонного и электронного (Камиоканде) экспериментов по детектированию солнечных нейтрино.

Подготавливаемые в нескольких лабораториях мира новые гигантские эксперименты позволят в недалеком будущем надежно проверить эту возможность. Так идеи Бруно прокладывают путь в физику следующего столетия, позволяя получить сведения о великом объединении сил природы. Это не единственный пример того, как идеи и эксперименты Бруно послужили началом ведущихся десятилетиями с возрастающей точностью экспериментов. К ним относятся, например, поиски распада $\mu \to e\gamma$ и определение массы электронного нейтрино по спектру β-распада трития, начатые Понтекорво почти полвека тому назад. Я не стану упоминать других блестящих работ Понтекорво. Мне хотелось только подчеркнуть здесь значение работ Понтекорво для физики XX и XXI веков.

Бруно приехал в Советский Союз в 1950 г., когда ему было 37 лет и он был в расцвете творческих сил. За время жизни в СССР Б.Понтекорво выполнил ряд блестящих исследований, включая прецизионные опыты по рассеянию π-мезонов на нуклонах, несохранению четности в μ-распаде, захвату мюонов в ^{3}He, проверке гипотезы о парном рождении странных частиц в нуклон-нуклонных столкновениях, которую он, кстати, высказал еще до появления схемы Гелл-Манна—Нишиджимы, и много других. Он высказал здесь свою знаменитую гипотезу о возможности нейтринных осцилляций и роли детектирования солнечных нейтрино для их обнаружения, указал на возможность проведения нейтринных исследований на ускорителях (в частности, для решения проблемы, тождественно мюонное нейтрино электронному или нет). Понтекорво оказал неоценимое влияние на уровень исследований по физике элементарных частиц в нашей стране, установив очень высокие критерии, которым необходимо было так или иначе следовать, воспитал большую школу экспериментаторов и стимулировал многие теоретические работы. Постановка многих важных новых экспериментов у нас зачастую становилась реальностью благодаря активной поддержке, которую оказывал им Понтекорво.

Бруно Максимович принял деятельное участие в становлении Института физики высоких энергий (ИФВЭ, Протвино) и выработке программы его исследований. Будучи в течение многих лет председателем нейтринного совета при АН СССР, Бруно оказывал неоценимую поддержку многим экспериментальным исследованиям. Особый энтузиазм в последние годы у него вызывала программа исследований по нейтринной астрофизике, осуществляемая А.Е.Чудаковым и Г.Т.Зацепиным. Вместе с А.М.Марковым он старался поддержать ее на всех уровнях.

К сожалению, Бруно не смог сам реализовать свои наиболее смелые идеи:

зарегистрировать антинейтрино от реакторов (что было сделано Ф.Райнесом и К.Коуэном в 1953—1956 гг. и за что Райнес получил в 1995 г. Нобелевскую премию);

обнаружить нетождественность мюонного и электронного нейтрино (за что получили Нобелевскую премию Л.Ледерман, Дж. Штейнбергер и М.Шварц).

Ответ на вопрос, почему так получилось, очевиден, он целиком связан с условиями жизни и научной работы в тогдашнем Советском Союзе. Что касается проблемы двух нейтрино, то ее нельзя было решить в СССР из-за отсутствия соответствующего ускорителя, а о том, чтобы сделать предложение Понтекорво основой какого-либо международного эксперимента в ЦЕРНе или США с его участием, невозможно было в тогдашних условиях даже подумать. (Тем более что Бруно еще два десятилетия не выпускали из соцлагеря под фальшивым предлогом его безопасности.)

С детектированием реакторных антинейтрино было еще обиднее. Узнал я это совершенно случайно.

В 1956 г., когда я был аспирантом Л.Д.Ландау в Институте физических проблем, один из ведущих экспериментаторов этого института — В.П.Пешков — поручил своему аспиранту Медведеву подумать о постановке опыта по детектированию реакторных антинейтрино. Сам В.П.Пешков был тонким экспериментатором в области низких температур (он, в частности, первым обнаружил второй звук в сверхтекучем гелии), но он к тому же был тогда еще каким-то большим начальником в Госкомитете по науке и технике и, по-видимому, имел доступ к действующим реакторам. Зная мой интерес к слабым взаимодействиям, Медведев обратился ко мне, и мы начали вместе обдумывать эксперимент. К этому времени уже было раскрыто пребывание Понтекорво в СССР, и когда Бруно появился в Физпроблемах*, мы попросили его обсудить возможности эксперимента. Он охотно согласился. В обсуждении с ним мы поняли, насколько были наивны, полагая, что такой эксперимент можно сделать сравнительно небольшими силами. Бруно дал несколько полезных советов, особенно относительно разных фонов. Запомнилось мне, что он советовал помещать детектор под реактором, который тем самым будет служить некоторой защитой от космических лучей. В заключение разговора мы спросили его, почему он сам не поставит этот эксперимент. Бруно сначала уклонился от ответа. Но когда в ходе дискуссии мы еще раз спросили его об этом, он неохотно (как мне показалось, даже смущаясь) ответил, что его не допускают к реакторам. Я был тогда потрясен. Было несомненно, что, начав исследования в 1950 г., когда в СССР уже вовсю работали промышленные реакторы и строились новые, Понтекорво с его знаниями и мастерством мог бы первым зарегистрировать нейтрино (к тому же в это время появились новые методы регистрации, которых не было в 1946 г.). Эту непробиваемую стену не мог, по-видимому, преодолеть даже И.В.Курчатов, который с большим интересом относился к работе Понтекорво. Он, в частности, снабдил Бруно достаточным количеством ^{3}He для опыта по μ-захвату, а В.П.Пешков помог Бруно, произведя глубокую очистку ^{3}He от трития, наличие которого делало невозможным проведение опыта в диффузионной камере.

Происхождение подаренного ^{3}He было очевидно. Он представлял собой «отходы» от производства трития (материала для водородной бомбы), и в связи с этим количество используемого гелия было объявлено секретом и запрещено для

*Институт физических проблем АН СССР, Москва.

разглашения при публикации результатов, хотя грамотный физик мог бы его легко вычислить, зная установку и условия опыта.

Для всех знавших Бруно было несомненным, что, работая на Западе, он мог бы добиться значительно большего и осуществить сам свои предложения. В связи с этим многие задавали вопрос: «А зачем (или почему) он переехал в СССР?» Одни высказывали предположение, что это было сделано по наивной вере многих преданных идее коммунизма иностранцев в то, что СССР — страна победившего социализма, строящая коммунистическое общество. В то время, когда стало более или менее безопасно обсуждать такие вопросы, некоторые люди цинично называли это «глупостью». Другие, особенно недоброжелатели Бруно (а они, хоть и в небольшом количестве, у него были), придерживались версии, принятой тогда в Америке: был советским шпионом и бежал при угрозе разоблачения.

Лично я, несмотря на многолетнюю дружбу с Бруно, ни разу не решился задать ему этот вопрос, понимая, что ответ может быть весьма болезненным для него. Но под влиянием многих бесед с Бруно у меня сложилось вполне определенное мнение по этому вопросу. Приведу несколько примеров. Однажды на ученом совете ОИЯИ я оказался сидящим рядом с Бруно где-то в задних рядах. Делал доклад известный Фукс, бывший советский шпион, который после тюремного заключения в Англии переехал в ГДР и работал в Дрездене. Доклад показался мне не очень интересным (что-то о схемах Юнга). Бруно, однако, был очень возбужден. Видно было, что эта встреча произвела на него сильное впечатление и как-то связана с его собственной судьбой. «Вы знаете, — говорил мне шепотом Бруно, — Ферми был очень строг в оценке ученых. Но Фукса он причислял к звездам первой величины». Я думал, что, когда кончится заседание, Бруно подойдет к Фуксу, но он этого не сделал, и мы вместе вышли из Дома ученых. Бруно был взволнован. Он, по-видимому, переживал историю прошлых лет, накануне своего переезда (или, можно сказать, бегства) в СССР. «Мне было бы очень интересно прочитать мемуары Фукса, если он их напишет, — сказал Бруно. — Дело в том, что, когда Фукса арестовали, мы все были уверены, что это полицейская провокация против коммунистов, поскольку выяснилось, что Фукс был коммунистом. У нас и мысли не было, что Фукс был шпионом, и мы считали, что это провокация в духе эпохи маккартизма, захлестнувшего Америку и распространяющегося на Англию». Из этих слов Бруно становится совершенно ясно, чего он, коммунист с 1936 г., мог опасаться в Англии после ареста Фукса и почему он решился так круто изменить свою жизнь.

Возможно также, что немаловажную роль в его решении переехать в СССР могла сыграть перспектива работы в Дубне на самом большом в то время в мире ускорителе. Сооружение этого ускорителя держалось тогда в секрете, но спецслужбы, подготовившие и осуществившие переправку Понтекорво в СССР, могли ему об этом сообщить или, по крайней мере, намекнуть.

Бруно рассказывал мне, что вступил в подпольную компартию Италии в 1936 г. во время войны в Испании. Будучи демократом и свободно мыслящим молодым человеком, он, живя в фашистской стране, ненавидел фашистский режим, а война в Испании угрожала его распространением. Коммунисты казались тогда многим наиболее решительными борцами с фашизмом. И это подтолкнуло

к сближению с ними, как мы знаем, очень многих достойнейших людей во всем мире — и в Европе, и в Америке*.

Вступив в компартию, Бруно принял коммунистическое учение за истинную науку и верно следовал ему, пока жизнь в СССР не разрушила постепенно его иллюзии одну за другой. Это был очень мучительный для него духовный процесс. Уже после перестройки, не помню точно, в 91-м или 92-м году, на общем собрании Академии наук Бруно подсел ко мне и сказал: «Я пишу сейчас свою автобиографию для итальянского издания. Я многое передумал. Я почти всю свою жизнь считал коммунизм наукой, но сейчас я вижу, что это не наука, а религия. Я считал Сахарова прекрасным, но наивным человеком, а сейчас вижу, что наивным был я сам».

Коммунизм как религия — это очень удачное определение Бруно. Оно объясняет многое в поведении и судьбе многих истинных коммунистов в СССР и за границей. Большинство истинных западных коммунистов, наиболее религиозно и преданно относившихся к СССР, были, безусловно, сторонниками коммунизма «с человеческим лицом», полагая, что они борются за счастье человечества. Но поскольку основной догмой «научного» коммунизма в отличие от «утопического» было то, что этой цели можно добиться только с помощью диктатуры пролетариата, они вынуждены были оправдывать перед другими людьми и самими собой подавление свободы в СССР, полагая, что это временное явление, связанное с переходным периодом, и совершенно не представляя масштабов творившихся зверств и преступлений, не понимая, что в СССР существовала не диктатура пролетариата, а диктатура преступной верхушки партии (религия не допускает сомнений). Помню, как во времена XXII съезда КПСС, когда происходило дальнейшее (далеко не полное) разоблачение культа Сталина, один из физиков в Дубне, недовольный этим, безжалостно бросил в лицо Бруно фразу: «А неужели иностранные коммунисты не знали обо всем этом раньше?» «Да, — ответил Бруно, — в 30-х годах об этом твердили все буржуазные газеты, но мы считали, что это ложь. А у тех коммунистов, которые поверили газетам, был плохой конец — они перешли к фашистам». Во время, когда кипели споры о культе личности Сталина,

---

*В откровенных разговорах Бруно не раз возвращался к теме испанской войны Это была его молодость и начало пути, который он избрал. Вместе с тем, протекшее с тех пор время и реальная действительность заставляли его по-новому переосмысливать происходящее тогда, развенчивая многие идеалистические представления его молодости. Однажды, когда в середине 60-х годов я зашел навестить Бруно, лежавшего в академической больнице, он перечитывал роман «По ком звонит колокол» «В свое время многие люди из интербригад, участники испанских событий, очень обижались на Хемингуэя за эту книгу, — сказал он, — но теперь я вижу, что это просто гениальная книга» За что же, спрашивается, обижались? За объективное описание того, что зверства совершались обеими сторонами, а не только фашистами? За описание нравов, царивших в верхушке республиканского командования и интербригад, причем настолько достоверное, что узнаешь многих действующих лиц, скажем, Эренбурга? Обо всем этом могли не знать молодые идеалисты антифашистской борьбы и не хотели в это поверить Потому и обижались Пожив в Союзе, Бруно понял, что все так и было Однако какие-то сомнения у него все же оставались В Дубне в это время учился очень приятный молодой человек — сын генерального секретаря итальянской компартии Луиджи Лонго По совету Бруно он посещал мои лекции по слабым взаимодействиям «Я все не решаюсь спросить его, — говорил Бруно, — знает ли что-нибудь он о том времени Ведь Лонго был заместителем комиссара интербригад. Неужели Марти был действительно таким, каким изобразил его Хемингуэй?»

Бруно старался не поддаваться безоговорочно общим настроениям и сохранять объективность. Так, он оправдывал заключение советско-германского пакта 1939 г. (о его секретных приложениях мы могли тогда только догадываться по произошедшему сразу же после этого разделу Польши и присоединению Прибалтики). «Вы не жили за границей и не знаете,— говорил Бруно,— все буржуазные газеты писали о том, что нужно стравить Гитлера со Сталиным, чтобы они уничтожили друг друга». Когда после очередного спора мы остались с ним вдвоем, он добавил: «Правда, не надо было Сталину присылать приветственную телеграмму Гитлеру после раздела Польши. Эта телеграмма очень удивила нас, коммунистов, и внесла сомнения в наши ряды».

Бруно тогда полагал также, что репрессии 30-х годов были результатом политической внутрипартийной борьбы. Мне пришлось долго рассказывать ему о разных фактах нашей истории: об ужасах коллективизации, голоде на Украине (о чем я знал от очевидцев), о Ленинградском деле, о деле врачей, о трагической судьбе семьи Аллилуевых и моей собственной и многое, многое другое. Бруно с доверием относился к моим рассказам, потому что я, будучи сыном репрессированных родителей и не являясь членом партии, тем не менее короткое время разделял, как и многие, иллюзию о восстановлении ленинских норм жизни и возможности построения социализма с человеческим лицом, не понимая, что Сталин был в действительности порождением ленинской доктрины. Началом конца этих иллюзий послужил разгром парторганизации ИТЭФ в 1956 г. (почти сразу же после XX съезда) и судьба Ю.Орлова, который всегда был и остается одним из самых умных, честных и мужественных людей, встретившихся когда-либо мне в жизни. Эту историю мы также много обсуждали с Бруно, но ясное понимание происходящего пришло только позже.

Будучи в 1989 г. впервые в Италии, я познакомился с молодым физиком из Римского университета. Он рассказал мне, что во времена своего студенчества верил в коммунизм и преклонялся перед СССР. «К счастью, — сказал он, — мой отец, будучи фармацевтом, прописал мне хорошее лекарство. Он купил мне туристическую путевку в СССР, и я вылечился». «При этом,— добавил он,— процесс излечения начался у меня еще в московском аэропорту». К сожалению, ни Бруно, ни тысячи других верующих не имели возможности принять подобное лекарство.

В связи с этим я хочу рассказать об одном выдающемся человеке, итальянском коммунисте, имя которого мало кому известно в нашей стране (кроме старых авиационных специалистов) и судьбу которого, еще более трагичную, чем у него самого, Бруно очень переживал. Речь идет о Роберто Орос ди Бартини. В 1963 г. меня вызвал директор ЛТФ Н.Н.Боголюбов и попросил разобрать статью, которая была отвергнута в «ЖЭТФ» с весьма обидной рецензией. «Эту работу, — сказал Н.Н., — дал мне М.В.Келдыш, хорошо знакомый с ее автором по работе в авиационной и космической промышленности. Он просил посмотреть, нельзя ли ее все-таки опубликовать, исправив что-нибудь. У автора тяжелая судьба. Он молодым приехал в Советский Союз, имел большие заслуги в авиации, в 30-е годы посажен в тюрьму, а сейчас снова активно работает. Посмотрите, пожалуйста, эту статью. Может быть, можно ее подправить и она все-таки подой-

дет, например, для вновь открывшегося журнала "Ядерная физика". В крайнем случае я сам представлю ее в "Доклады АН"».



Роберто Орос ди Бартини

Я начал изучать статью, полный сочувствия к ее автору. Статья начиналась так: «Рассмотрим тотальный и поэтому уникальный экземпляр А». Только после долгих усилий мне удалось понять, что под экземпляром А автор подразумевает всю нашу Вселенную. Правильно, она уникальна. Далее автор предполагает, что экземпляр А может реализовываться в пространстве-времени нескольких измерений (не обязательно четырех) и существует определенная вероятность перехода от одного числа измерений к другому. Такая гипотеза в настоящее время, когда произошел ренессанс теорий типа Калуцы—Клейна и рассматриваются пространства довольно большого числа измерений с их компактификацией, вполне могла быть принята. Но дело происходило в начале 60-х, и тогда она, безусловно, выглядела совершенно дикой для рецензентов. Тем не менее я считал, что автор вправе ее принять (сказывалось мое сочувствие к нему). Развивая далее эту гипотезу, автор приходил к заключению, что наиболее вероятным для Вселенной является пространство шести измерений, и из «геометрических» соображений получал число, близкое к удвоенной постоянной тонкой структуры 1/137. Подправив это число в соответствии с экспериментальными данными и приняв за эталон боровский радиус, автор в «потрясающем» согласии с опытом вычислял комптоновскую длину и классический радиус электрона. Это был, конечно, нонсенс, так как известно, что эти величины по своему определению представляют боровский радиус, умноженный соответственно на первую и вторую степень постоянной тонкой структуры. В статье содержалось далее некоторое выражение для гравитационной постоянной, которое можно было рассматривать как эмпирическое.

Для меня было ясно, что ни один физический журнал не примет эту статью ни по ее физическому содержанию, ни по языку, которым она изложена. Я решил ее переделать, изложив так, чтобы было понятно, что утверждает автор, и убрав «согласие» с экспериментальными данными, получающееся на основе определений величин. Подготовив новый, «урезанный» текст, я созвонился с автором, чтобы согласовать его. Бартини пригласил меня к себе домой на Кутузовский проспект. Приехав к нему, я увидел обаятельного красивого человека с удивительно обходительной и приятной манерой общения (Бруно рассказывал мне потом, что Бартини происходил из знатной аристократической семьи, с которой порвал, став коммунистом, несмотря на то, что горячо любивший его отец — барон и бывший губернатор Фиуме — был человеком довольно широких и демократических взглядов).

С первых минут я понял, что имею дело с необычайно одаренным во всех отношениях человеком. На стенах висели замечательные картины, а на столах стояли небольшие скульптуры и модели каких-то фантастических самолетов. Все, как я узнал, было выполнено хозяином дома. Бартини очень мягко выразил разочарование моим текстом. Он считал, что я урезал многие его важные мысли, и (несмотря на мои доводы, что в таком виде статью не примет ни один журнал) отстаивал буквально каждое слово. При этом он, обосновывая свои идеи, указывал соответствующие места в книге Эддингтона и других подобных книгах. Я не мог его убедить, что для редакций это не будет служить аргументом. Наши споры часто выходили далеко за рамки обсуждаемой статьи и касались философских проблем (я был поражен знаниями автора в области античной, классической и марксистской философии). Так провели мы, упорно трудясь, несколько вечеров.

Бартини, как я понял, работал в Подлипках в известном всем секретном КБ. Однако главным делом своей жизни он считал в тот момент именно обсуждаемую работу и был в отчаянии, что не может ее опубликовать. «Мое "ремесло" (так называл он свой труд в КБ) идет весьма успешно, но главное — это работа, которую мы обсуждаем», — говорил он. В перерывах между обсуждениями, за чаем, который мы пили, не отходя от письменного стола, я старался навести разговор на тему работы Бартини в заключении. Кое-что об этом я слышал от Ю.Б.Румера. Бартини охотно рассказывал: «У нас было три отдела: Туполева, мой и Румера. Румер занимался у нас динамикой — фляттером, и мы были друзьями (вот откуда, подумал я, Бартини приобрел интерес к многомерной Вселенной. — *С.Г.*). В моем отделе работало много известных теперь людей, например, Королев. Будущий директор ЦАГИ у нас был чертежником».

Я не помню сейчас, рассказал ли мне сам Бартини один интересный эпизод из своей жизни или я услышал его от Бруно. Дело в том, что в «шарашку» неоднократно приезжал сам Берия и, собирая начальников отделов, обсуждал с ними за чаем ход работ и давал новые задания. Видя благожелательное отношение Берии, заключенный Бартини решился обратиться к нему со словами: «Вы знаете, Лаврентий Павлович, ведь я ни в чем не виноват». «Канэчно, знаю, — ответил Берия. — Был бы виноват — расстреляли бы. Ничего, сделаешь самолет — получишь Сталинскую премию первой степени и выйдешь на свободу». Сохранивший еще, несмотря ни на что, свою наивность, Бартини недоумевал, какая связь может существовать между самолетом и теми ужасными обвинениями в шпионаже и других грехах, за которые он был осужден. Ведь, будучи на свободе, он мог бы работать быстрее и лучше, создавая свою машину.

Когда более-менее урезанный текст статьи был согласован и послан в «ЯФ», я попросил Я.А.Смородинского направить ее на рецензию мне. Я написал вполне объективную рецензию, указал на допустимость выдвинутых гипотез (несмотря на необычность) и рекомендовал опубликовать статью. Одновременно я просил Я.А. в случае отказа от публикации прислать ответ сначала мне, так как я боялся, что Бартини не переживет отказа, и помнил обещание Н.Н.Боголюбова представить статью в печать. Когда, несмотря на мою рецензию, редакция «ЯФ» отклонила статью Бартини, я пошел с ней к Николаю Николаевичу. Он задумался: «Видите ли, если эту статью представлю я, теоретик, может выйти скандал. Лучше, если

это сделает экспериментатор, который сможет потом сослаться, что он не специалист. Вот, например, Бруно Максимович как раз недавно избран академиком. Он теперь имеет право сам представить статью в "ДАН"».

Я пошел к Бруно. «Не хотелось бы, конечно, мне в качестве первой статьи представлять эту, — сказал он, — но что поделаешь. Бартини надо спасти. Иначе он сойдет с ума». И Бруно представил статью в несколько исправленном виде. (Когда она была опубликована в «ДАН», Бруно удивился, что Бартини подписался своим полным именем, сохранив приставку «ди».) Бруно очень переживал судьбу Бартини: «Он попал в Союз совсем молодым человеком. В Италии, даже в компартии, о нем никто не знает, может быть, его помнят только несколько старых людей, например, сенатор Террачини».

После публикации статьи Бартини Бруно имел-таки некоторые неприятности. Во-первых, он получил письма сразу от нескольких «сумасшедших», упрекавших его в том, что он представил украденные у них идеи. Во-вторых, ему позвонили из Отдела науки ЦК КПСС и стали интересоваться, не является ли эта статья розыгрышем. Именно с такой жалобой обратились в указанный орган некоторые математики, посчитавшие оскорблением помещать розыгрыш в журнале, где они печатают свои гениальные работы. (В том, что статья — розыгрыш, начиная с первой фразы, которую я привел выше, они не сомневались. Вымышленной показалась им и необычная фамилия автора, что также было принято за какой-то непонятный элемент розыгрыша.) В разговоре с инструктором ЦК Бруно (как делал он обычно в разговоре с остановившим его инспектором ГАИ) перешел на весьма ломаный русский язык и с возмущением отверг предположение, что Роберто Орос ди Бартини — вымышленный человек. «Обратитесь в Оборонный отдел ЦК. Там о нем должны знать. Удивительно, что вы не знаете», — сказал он. На том разговор и закончился. Впоследствии я увидел работу Бартини в сборнике по гравитации, изданном К.П.Станюковичем.

Где-то в середине 60-х годов я увидел в «Неделе» статью о Бартини. В ней, в частности, говорилось, что, представляя Бартини научно-техническому совету, С.П.Королев назвал его своим учителем, а итальянская компартия наградила его памятной медалью. Появился указ о награждении Р.Бартини орденом Ленина. Ученики и близкие сотрудники Бартини собирались при поддержке министра авиационной промышленности Дементьева создать музей Бартини. Совершенно случайно мне попалась книжечка И.Чутко «Красные самолеты», в которой люди, близко знавшие и любившие Бартини, излагают историю его жизни и работы. Хочется привести слова генерального конструктора академика О.К.Антонова из предисловия к этой книге: «Роберто Бартини был человек несокрушимой убежденности, человек кристальной души, пламенный интернационалист. ...Твердая убежденность коммуниста в необходимости личного участия в великой борьбе за построение светлого будущего человечества была в течение всей жизни его путеводной звездой». К сожалению, в неплохой книге Я.Голованова о С.П.Королеве только вскользь говорится о Бартини, хотя Королев работал в отделе Бартини и называл его впоследствии своим учителем. Видно, многолетняя привычка писать полуправду сработала и здесь. Ясно ведь, что образ С.П.Королева нисколько бы не потускнел, а только выиграл, если бы было рассказано о настоящем поло-

жении Бартини в «шараге» и о том чувстве благодарности, которое, по-видимому, Сергей Павлович к нему впоследствии испытывал.

Мир тесен, и нечто новое о жизни Р.Бартини я узнал, если можно так выразиться, с другого конца. Оказалось, что сын Р.Бартини — Гера Бартини — был физиком и преподавал в Химико-технологическом институте. Именно в его группе учился Леонид Иванович Пономарев, и именно Гера Бартини рекомендовал Пономареву перейти на физический факультет МГУ. Попав как-то в компанию друзей из группы Пономарева по Химико-технологическому институту, я поразился, с какой теплотой и уважением они вспоминали Геру Бартини. Сам Гера к тому времени погиб в горах. На Кавказе, в альплагере, я познакомился с альпинистом из Челябинска, который хорошо знал обстоятельства трагедии: Гера погиб, пытаясь в одиночку проложить путь для спасения группы, попавшей в тяжелую ситуацию.

Я прошу прощения у читателей за то, что в своих воспоминаниях о Понтекорво я так много места уделил истории Р.Бартини. Сделал я это потому, что судьба Бартини перекликается с судьбой Б.Понтекорво и многих других идеалистов, боровшихся за «светлое будущее человечества», а сам Бруно, несомненно, одобрил бы рассказ о ней.

Надо сказать, что Бруно искренне любил физику и радовался ее достижениям, кем бы они ни были сделаны. Он с энтузиазмом мог говорить о чужих экспериментах, восхищаться новой примененной методикой или остроумной постановкой опыта. Помню, как высоко он отзывался об экспериментах Ю.Д.Прокошкина, П.Е.Спивака, Ф.Л.Шапиро, В.М.Лобашова и многих других. Он увлеченно рассказывал о своих коллегах по экспериментам, отмечая их выдумку и вклад в успех опыта, с большой теплотой говорил о совместной работе с теоретиками Л.Б.Окунем, В.Н.Грибовым и другими. Я заметил, что Бруно особенно часто нравились талантливые независимые люди, за которыми шла слава, что они «неуправляемые» и непростые в общении. Он очень ценил оригинальность мышления (в частности, подчеркивал ее у Б.С.Неганова). Нельзя сказать, что он не замечал мелких недостатков и слабостей людей, наоборот, он их прекрасно видел и любил над ними подшучивать. Но Бруно был совершенно непримирим в критике, когда видел недостатки эксперимента, отсутствие контрольных измерений, «легкомысленное» отношение к математической обработке результатов и, особенно, какие-нибудь подтасовки. Здесь он поступал невзирая на лица

Такая позиция Бруно иногда создавала ему новых недоброжелателей и даже врагов. В этом отношении для меня особенно болезненной была ссора, возникшая между Бруно и Г.Н.Флеровым. Поддержав в свое время С.М.Поликанова в его споре с Г.Н.Флеровым по поводу недостаточной достоверности открытого элемента и содействовав переходу С.М.Поликанова в ЛЯП, Бруно навлек на себя враждебное отношение Г.Н.Флерова. К сожалению, Г.Н. в духе того времени использовал не только научные, но и политические аргументы. Бруно с возмущением показывал мне стенограмму собрания по поводу дела С.М.Поликанова, эмигрировавшего из СССР. Сам Бруно был в это время в отъезде, на собрании не присутствовал. Нападки Г.Н. на Бруно, содержащиеся в стенограмме, напоминали выступления в духе 37-го года. Я очень сожалел об этой вражде, так как, несмотря

на многие известные недостатки и недостойный поступок, совершенный Г.Н. на этом собрании (о чем я ему и сказал), Флеров по-человечески нравился мне своей незаурядностью, талантом и целеустремленностью. Я пытался как-то смягчить существующую вражду. Но мне это не удалось.

Железным правилом для Бруно была объективность оценок. Оказавшись посередине разных конкурирующих групп и школ, Бруно ни разу, насколько я знаю, не нарушил этого правила, невзирая на свои научные и человеческие симпатии. Это также навлекало на него недовольство с разных сторон. Помню, как-то раз Бруно пожаловался мне, что на каком-то совещании по оргвопросам К.А.Тер-Мартиросян назвал его «соглашателем». «Это меня-то, члена подпольной компартии с 1936 года, — говорил Бруно, — он назвал коллаборационистом». Я понимал, как это вышедшее уже к тому времени из политического употребления слово могло подействовать на коммуниста с 36-го года, когда в качестве главной задачи компартиям ставилась борьба с «соглашателями». Эта история, однако, ни в коей мере не повлияла на хорошее отношение Бруно к Карену Аветовичу, которого он ценил как физика и очень доброго прямого человека, готового биться с любой несправедливостью. «Он благородный Дон-Кихот, который иногда может наброситься даже на ветряные мельницы», — говорил Бруно.

Особенные трудности из-за своего желания быть объективным Бруно испытывал при выборах в Академию наук. Он часто советовался, обсуждая научные заслуги разных кандидатов. Я был тогда весьма далек от академической кухни, поэтому удивился, когда он перед одними из выборов сказал: «Я очень хочу, чтобы в академию избрали X, он для меня первый кандидат, но я не могу голосовать против У, потому что У — прекрасный, оригинальный физик». Я ответил, что это, по-моему, вполне естественно. «Да, — сказал Бруно, — но когда одни люди придерживаются объективных оценок, а другие голосуют только за "своих", вы неизбежно проигрываете. Тем не менее я не могу поступать иначе». Поэтому Бруно всегда пытался найти компромисс. Одним из средств этого являлась академическая «игра» — пробное, неофициальное голосование в отделении, позволяющее выделить наиболее приемлемых для большинства членов отделения кандидатов и затем добиться соглашения между разными группами об их избрании. Это позволяло, не разбрасывая голоса, добиться избрания намеченных кандидатов уже при официальном голосовании (которое по уставу могло проводиться не более чем в три тура, иначе пропадали выделенные отделению места). Такой способ мог работать, конечно, только в том случае, когда люди, проголосовавшие определенным образом при окончательной «игре», не меняли своей позиции при официальном голосовании. Одним словом, это должно было быть «джентльменской» игрой. Однажды Бруно привел мне слова И.М.Франка: «Какое все-таки у нас порядочное отделение. Как договорились, так и проголосовали». Я удивился этим словам, так как не понимал, как же может быть иначе. Однако позднее оказалось, что бывает и по-другому. И это настолько потрясло Бруно, что он серьезно решил перейти из Отделения ядерной физики в Отделение общей физики (и даже начал вести об этом переговоры). К счастью, его убедили не делать этого. Позиция Бруно на выборах сводилась к следующему: он считал, что если какая-то группа непременно хочет провести своего кандидата, блокируя для этого избрание

других, более, по мнению Бруно, достойных, то следует идти на такой компромисс, чтобы самые достойные также оказались в числе избранных. Однако, помня результаты потрясшей его до этого «игры», он потребовал однажды в критической ситуации, чтобы голосование проводилось, по существу, открытым образом (открытыми бюллетенями). Это свидетельствовало о том, что Бруно перестал быть наивным, как раньше. Находились люди, которые осуждали его за это. Но жизнь показала, что Понтекорво был прав.

Бруно запомнился мне исключительно разносторонним человеком. Одним из увлечений его был спорт. Приехав в Дубну, он начал широко культивировать теннис (тогда это еще не вошло в моду). Он с увлечением рассказывал о теннисных турнирах своей молодости, удивляясь, что мне не знакомы имена тогдашних кумиров. Он, пожалуй, первым у нас начал заниматься подводным плаванием, объединившись с А.Б.Мигдалом и его компанией. (А.Б. был одним из самых близких его друзей, но Бруно любил и его товарищей. Особенно тепло он рассказывал о Суетине — блестящем инженере, изобретателе и талантливом человеке.) Однажды Бруно чуть не явился причиной тревоги по Черноморскому флоту, так как, вылезши из моря в гидрокостюме и маске (невиданных тогда у нас), да еще при его иностранном акценте, был принят пограничниками за шпиона, которого высадили с подводной лодки.

Бруно был превосходным велосипедистом. Как-то раз он продемонстрировал мне свою быструю езду, сидя спиной к рулю. Велосипед он не оставлял даже будучи уже больным. Упав с него, он в 1990 г. сломал шейку бедра. К счастью, советник посольства Италии по науке Г.Пираджино помог быстро отправить Бруно для операции в Италию, где был врач, знакомый с болезнью Бруно и знавший, какую анестезию для него можно использовать. Случилось так, что я выехал в Италию неделю спустя и сумел навестить Бруно в римском госпитале после операции. Он уже поправлялся и был рад, что у него не было его болезненной «трясучки».

У Бруно, мне кажется, была любовь к риску и приключениям. Как в науке, так и в обычной жизни. Но если в науке его риск был всегда научно обоснован, то в спорте и путешествиях он нередко угрожал его здоровью и самой жизни. Когда мы как-то спускались на лыжах со склонов Арагаца в Армении, Бруно заметил: «Раньше я делал это значительно быстрее, не думая о том, какой может быть обрыв за перегибом склона. Но, сломав несколько раз ноги, я стал осторожнее». Был случай, когда лодка, на которой ехал Бруно с Долгошеиным и другими (кажется, это было вблизи Курил), перевернулась в нескольких километрах от берега и всем пришлось добираться вплавь. Несчастья иногда подстерегали Бруно, что называется, на ровном месте. Однажды, желая прогуляться вечером по замерзшей Волге со своей женой Марианной, к которой он относился с трогательным вниманием и заботой, Бруно провалился по плечи в полынью, однако сумел задержаться и выбраться на лед. Позже, когда он уже был нездоров, в центре Москвы его так стукнул какой-то, по-видимому, маньяк, что Бруно упал и довольно сильно ушибся. Мы очень переживали все подобные случаи.

Бруно увлекался кино. Во многом это было связано с его братом Джилло Понтекорво, которого он очень любил. После каждого кинофестиваля в Москве

Бруно был переполнен впечатлениями, рассказывая не только о картинах, но и о разных забавных ситуациях, вроде такой: одна из известнейших итальянских кинозвезд недвусмысленно спрашивала приглашенного на фестиваль Ю.Гагарина: «Как Вы думаете, можно ли достичь звезды?» «Нет, — отвечал Гагарин, — сейчас техника этого не позволяет». «Подумайте, может быть, все-таки это возможно?» «Нет», — упорно отвечал Гагарин, прекрасно понимая намек.

Бруно был очень рад, что Д.Понтекорво удалось сделать замечательный фильм «Капо». Он рассказывал о борьбе, которая разгорелась по вопросу приобретения этого фильма для советского кинопроката. Фурцева как будто была согласна. Но возражал кто-то из советских киновельмож, ссылаясь на то, что у одного из героев фильма — русского солдата — грубое лицо. «А по-моему, оно вовсе не грубое, — говорил Бруно, рассказывая содержание фильма, — сквозь эту внешнюю грубость ясно проглядывают сила и ум». Самому Бруно нравились такие люди. Конечно же, все эти возражения были просто предлогом. Кинофильм так и не купили.

Понтекорво, конечно, очень тосковал по Италии. Но эта тоска была запрятана у него очень глубоко и только иногда прорывалась в каких-нибудь незначительных проявлениях. Например, когда мы с ним ехали через Тбилиси на конференцию в Ереван, он попросил: «Давайте заедем на базар. Там продают домашний сыр, который так похож на итальянский». Бруно вообще любил Кавказ: Армению и особенно Грузию. Что-то в поведении людей напоминало ему Италию. У него были друзья среди элиты грузинской интеллигенции.

Бруно научился готовить спагетти и соусы к ним со всеми тонкостями итальянской кухни. Помню, однажды он пригласил меня, А.Логунова и А.Тавхелидзе на ужин, и мы убедились, насколько превосходно он это делал. Было очень вкусно (особенно, если запивать тосканским вином кьянти).

Впервые Бруно выпустили в Италию, кажется, в 1979 г. после настойчивых представлений общества «Италия—СССР». Меня к тому времени не было в Дубне, и я только от друзей узнавал, с какими трудностями «пробивалась» поездка. То одна, то другая инстанция вычеркивала Бруно из списков делегации. В конце концов инстанции разрешили поездку Бруно, опасаясь назревающего скандала.

Почему не выпускали Бруно, довольно ясно. Потому же, почему не выпускали П.Л.Капицу, Л.Д.Ландау и многих других. Мой знакомый случайно присутствовал при разговоре двух чиновников. Один из них объяснял другому, почему нельзя выпускать П.Л.Капицу: «У него в Англии дом и счет в банке. Ну подумай, сам бы ты вернулся, если бы у тебя за границей был дом и счет в банке?» Эти люди, проповедуя на словах коммунистические идеалы и строго соблюдая коммунистические (религиозные) обряды, сами уже давно в них не верили. Они крепко держались только за свои места и привилегии, боясь в случае чего их потерять. Им недоступно было понимание, что они говорят о великом ученом и русском патриоте, что такие люди, как П.Л.Капица, Л.Д.Ландау, Б.М.Понтекорво, не могут оставить своих учеников и созданные ими школы. Эти бюрократы нанесли колоссальный вред нашей науке, лишив крупнейших ученых возможности общаться с людьми их уровня за границей. Можно только удивляться тому, что несмотря на усилия чиновников советская физика добилась замечательных успе-

хов. Но эти успехи могли бы быть значительно большими, если бы ей не мешали подобного рода приспособленцы. Сущность многих из них обнажила перестройка, когда некоторые люди, входившие в высшие эшелоны власти, в Политбюро ЦК КПСС, в верхушку КГБ и вдохновенно прославлявшие очередного генсека, начали выискивать у себя репрессированных родственников и говорить, как мучила их советская власть и что они давно не верили в коммунистический режим. Как же могли эти неверующие циничные попы коммунистической религии поверить, что среди ученых достаточно много «чудаков», которые имеют принципы? Поэтому, несмотря на внешние знаки уважения, они никогда не доверяли Понтекорво. К тому же у чиновников возникло подозрение: а не еврей ли Понтекорво? (Когда Бруно узнал о таком предположении, он сказал: «Я из католической семьи», подчеркнув, что в Италии (в отличие от страны «реального» социализма) людей различали только по религии, а не по расовым или этническим признакам.) Поэтому в соцстраны — пожалуйста. Оттуда не убежишь. Но перед поездкой изволь прослушать инструктаж, как надо вести себя за границей.

Мы с Бруно оказались на таком инструктаже в Госкомитете по атомной энергии перед поездкой в Венгрию. Интеллигентного вида кагэбист в очках с золотой оправой (говорили, что он в генеральских чинах) поучал нас: «Две бутылки водки можете с собой взять. Но больше — ни-ни. Вот у нас был случай. Один уважаемый академик, назовем его Иван Иванович, непременно хотел взять с собой ящик водки, говоря, что он за границей просто без этого не может обойтись. Нет, сказали мы, уважаемый Иван Иванович, этого делать нельзя. И он послушался».

И все это выслушивать в течение часа! Потом нам надо было ехать в ГКНТ и там тоже знакомиться с подобными инструкциями. Чувствовалось, что Бруно весь кипел, но сдерживал себя и даже успокаивал меня, говоря, что раньше было еще хуже: «Вот перед Рочестерской конференцией в Киеве в 1959 г. дубненский режимщик на общем инструктаже вообще произнес: “К сожалению, контактов избежать не удастся”. Это было встречено общим смехом. Ему стали объяснять, что конференции собирают как раз для научных контактов. Теперь он всюду говорит, что он “за контакты”*. «Я думаю, — добавил Бруно,— что поездки за границу уже не смогут отменить» (дело происходило во время очередного обострения международной ситуации, и «контакты» ограничивали). Посмотрите, какой возник аппарат чиновников, живущих за счет этого. Они не могут лишить себя работы».

Бруно несколько раз ездил в Венгрию на прекрасные конференции по слабым взаимодействиям и нейтрино, устраиваемые Д.Марксом. Особенно мне запомнилась конференция 1972 г. На ней были Р.Фейнман, Т.Д.Ли, В.Вайскопф и многие другие выдающиеся физики. Бруно и Фейнман, в качестве почетных участников, посадили по дереву. На конференциях в Венгрии я увидел, с каким благоговением и любовью относились к Бруно итальянские физики. Сам он также с восхищением рассказывал мне о многих из них, часто вспоминал своих друзей по совместной работе с Ферми, переживал их успехи и неудачи. Из нового поколения ему особенно нравился Карло Руббиа, которого он ценил как талантливейшего и

*Здесь возможна неточность. Мне рассказывали, что эта фраза была произнесена другим лицом на инструктаже в Госкомитете по атомной энергии и отнюдь не сопровождалась смехом

исключительно смелого физика; ему импонировала даже бравада, свойственная Руббиа. Сам Бруно также любил пошутить. Когда после награждения его медалью Этвеша за работы по физике нейтрино одна журналистка спросила: «Есть надежда, что нейтрино будет когда-нибудь приносить пользу людям?», Бруно ответил: «Почему будет? Некоторым оно уже сейчас приносит».

Мы были рады за Бруно, когда он смог свободно ездить в Италию и встречаться с родными, друзьями и коллегами. Его очень тронуло, что университет Феррары (один из старейших в Италии) избрал его почетным профессором, и Бруно с большой тщательностью готовил свою вступительную лекцию.

Пожив в России, Понтекорво очень полюбил ее просторы и ее людей. Ему нравилась русская кухня (он говорил, что для него она лучше французской). Бруно полюбил открытость, широту и доброту русского характера. Личность Бруно, его обаяние и демократизм притягивали самых разных людей: его любили врачи в больницах, механики в лабораториях, официантки в академической столовой и в Доме ученых. Вокруг него было много искренне любивших и почитавших его людей. Когда мы с ним проезжали как-то по Каменному мосту, он сказал, глядя с него на Кремлевский ансамбль: «Я побывал во многих городах мира, поверьте, вид отсюда самый прекрасный из всех, которые я когда-нибудь видел».

Будучи полиглотом, Бруно восхищался русским языком и прекрасно его чувствовал (хотя и говорил с акцентом). Он вспоминал, что при освоении русского языка ему большую помощь оказала Ирина Григорьевна*, печатавшая и правившая его статьи. Он всегда относился к ней с чувством благодарности и большого уважения. Забавно, что Бруно долго не мог понять двойного отрицания, существующего в русском языке. И совсем уже был поражен, когда Мигдал привел ему пример тройного: «Нельзя не вспомнить без улыбки». Я долго растолковывал ему эту фразу, и в конце концов он восхитился этим оборотом.

Бруно часто с большим пиететом вспоминал своего учителя Э.Ферми и всю его римскую группу. Рассказывал о Э.Майоране, которого сам Э.Ферми считал гениальным физиком, о его неопубликованных замечаниях, о его загадочной судьбе. С большой тщательностью он готовил издание собрания трудов Э.Ферми на русском языке. Многое из того, что рассказывал мне Бруно о Э.Ферми, вошло в примечания, сделанные им к статьям Ферми в этом превосходном сборнике, и в книгу о Ферми, написанную Бруно. Поэтому я ограничусь только двумя замечаниями.

Однажды, когда я пришел к Бруно обсудить свои расчеты, связанные с диффузией мезоатомов водорода, он воскликнул: «Так это же теория возраста Ферми! Вы знаете, почему она так называется?» Я думал, что это связано с жизнью нейтрона после его появления. «Совсем нет. Есть известная итальянская шутка: “Из порта отправляется трехтрубный пароход, водоизмещением столько-то тонн с таким-то количеством пассажиров. Спрашивается, каков возраст капитана?” Вот откуда это название». Далее Бруно рассказывал: «Ферми применил теорию возраста, создавая теорию ядерного реактора. В это же время Е.Вигнер писал для этой цели интегродифференциальные уравнения. Э.Ферми в своем кругу посмеивался

*И.Г Покровская — секретарь Б.М.Понтекорво.

над этим: "Бедный, как он мучается, решая их". Простой же физический подход Э.Ферми позволил ему наглядно и с достаточной точностью получить необходимый результат». «Это не значит, что Э.Ферми плохо владел математическим аппаратом, — добавил Бруно, — он прекрасно им владел и имел чисто математические работы. Просто он считал, что для рассмотрения конкретной физической задачи надо использовать адекватную этой задаче математику, не переусложняя ее наукообразием и "строгостью"».

Вот перед фон Нейманом Э.Ферми преклонялся. Один из близких друзей Э.Ферми в Америке (скорее инженер, чем физик) рассказал Бруно, что на его вопрос о фон Неймане Ферми ответил: «А как ты думаешь обо мне? Так знай, он настолько же умнее меня, насколько я — тебя». (Бруно сказал, что это не было обидно для рассказывающего, так как они с Ферми были друзьями и разница между ними обоим была хорошо понятна.)

Другой интересный эпизод был связан с самим Бруно. Он начал свою работу в лаборатории Ферми с исследований по классической спектроскопии, но интересы его, конечно, были устремлены к ядерной физике. «Однажды я спросил Ферми, — рассказывал Бруно, — нельзя ли попытаться наблюдать резонансное рассеяние γ-квантов в ядерных переходах? Ферми задумался, ушел в другую комнату и, вернувшись минут через десять, сказал, что нельзя, так как существует отдача ядра». Я тогда пошутил: «Жаль, что Ферми пробыл в другой комнате так недолго. Ведь он занимался до этого молекулами и кристаллами и даже написал на эту тему монографию. Подумай он дольше, он мог бы додуматься и до эффекта Мессбауэра. Вот была бы еще одна работа, достойная Нобелевской премии». Мы несколько раз обсуждали с Бруно вопрос, сколько работ Э.Ферми могли бы быть достойны Нобелевской премии, и насчитали пять или шесть.

В связи с этим рассказом Бруно мне хотелось бы привести почти аналогичную историю. В 1962 г. И.Я.Померанчук, рассказывая о Рочестерской конференции в Женеве (И.Я. выезжал тогда за границу в первый и последний раз), упомянул, что к нему подходил Хоутерманс*.

«Ну и что же он вам сказал?» — спросили мы. «Он сказал: "Чук, мы были идиоты. Мы просмотрели эффект Мессбауэра"». Дело в том, что Хоутерманс с Померанчуком рассматривали в Харькове рассеяние нейтронов в кристалле и знали о возможности существования несмещенной линии, связанной с рассеянием на всей кристаллической решетке.

Когда я рассказал эту историю Бруно, он сказал, что знал Хоутерманса как активного немецкого коммуниста: «Он, как и Георгий Димитров, был обменен в 1933 г. на каких-то германских агентов». Я был очень удивлен, так как у нас

---

*Хоутерманс — известный немецкий физик, первым («с подачи» Г.А.Гамова) высказавший идею о том, что энергия звезд имеет термоядерное происхождение. В 1933 г. приехал в СССР и работал в Харькове. Позднее был арестован органами НКВД как шпион, а в 1939 г., после заключения договора с Германией, был передан гестапо и очутился уже в фашистской тюрьме. Оттуда он был освобожден по ходатайству немецких физиков и оказался в лаборатории фон Арденне, входившей в почтовое ведомство. Работая там, Хоутерманс указал реальный путь создания атомной (плутониевой) бомбы, а также рассмотрел возможность создания водородной. (К счастью, проекты не были приняты из-за его политической неблагонадежности.) После войны жил в Швейцарии.

всегда писалось, что Димитрова фашисты были вынуждены выпустить из тюрьмы после его победы на Лейпцигском процессе. «Как, вы ничего не знали об этом? — сказал Бруно. — Ну тогда считайте, что я ничего вам не говорил». (По-видимому, это был широко известный «секрет» Коминтерна, который Бруно, тем не менее, считал для себя не вправе разглашать.)

Много горя доставила всем нам, любившим и почитавшим Бруно, его обострившаяся со временем болезнь. Приезжая в Дубну, я всегда заходил к Бруно поговорить о физике и о «жизни». Однажды я застал его расстроенным. На одной из конференций докладчик приписал идею нейтринных осцилляций каким-то другим людям, и подобные ссылки появились уже в нескольких работах. Я посмеялся над этим, сказав, что его приоритет всем известен, но лучшим и конструктивным ответом на подобные происки было бы написание обзора, например в «УФН», об истории нейтринной физики. Бруно ответил, что подумает над этим, и действительно написал очень интересную и полезную статью. При расставании он сказал: «Вы же знаете, что я никогда не заботился о приоритетах. Просто я нездоров и поэтому нервничаю».

Бруно очень стеснялся своей болезни, этой «трясучки», как он говорил, которая особенно обострялась, когда он волновался. «Надо же было, чтобы именно эта болезнь привязалась к такому красивому и гармоничному человеку, как Бруно», — слышал я от многих. Мигдал устроил ему несколько сеансов у знаменитой Джуны, и Бруно, несколько смущаясь, говорил, что он почувствовал после них некоторое облегчение. Он, конечно, не верил ни в какую магию, но явно отмечал эффект ее психологического воздействия и массажа. Зря только она сказала ему, что у нее такие пальцы, что она может почувствовать нейтрино. Это его разочаровало.

Последний разговор мой с Бруно состоялся по телефону в самом конце июля 1993 г., за день до его отъезда из Рима в Москву. Бруно рассказывал о Европейской конференции по физике частиц, о выступлении на ней Л.Б.Окуня, которое ему очень понравилось: «Лев Борисович совершенно прав. Закрытие SSC — это удар не только по физике, но и по всей науке, культуре и цивилизации». Через три недели Бруно должно было исполниться 80 лет, и мы с друзьями думали, как лучше это отметить. Я не знал, останется ли Бруно на это время в Италии или приедет в Дубну, но он сказал, что завтра вылетает в Москву. «Я, правда, несколько простужен и плохо себя чувствую, но решил не отменять поездку», — добавил он. Перед его днем рождения я узнал от дубненских товарищей, что Бруно категорически против устройства какого-либо празднования юбилея и просил не приезжать. Я послушался, поскольку это было желание Бруно, но потом очень жалел: друзья все-таки собирались. Вскоре после этого Бруно не стало.

Я считаю подарком судьбы, что мне довелось встретиться и долгие годы дружить с этим удивительным, великим человеком.

A PERSONAL DEBT TO BRUNO PONTECORVO

J.Steinberger
CERN, Switzerland

My encounters with Bruno Pontecorvo were brief, given the cold war, but the impact of his ideas on my work was large.

I met Bruno on the occasion of his visit to his friend Enrico Fermi at the University of Chicago in the winter or spring of 1948. I was a doctoral student of Fermi, and doing my thesis experiment on the spectrum of the electrons in cosmic ray muon decay. The result of this experiment, namely that the spectrum is a continuum [1], turned out to be of some interest. As it was, Bruno was doing a similar experiment [2] at Chalk River, with the difference that he was an experienced cosmic ray experimenter, and had only shortly before demonstrated that the muon does not decay to photons [3]. What made a particular impression on me was his generosity to a young student doing similar work.

Here I would like to tell a non story, which is perhaps the more interesting contribution I can make to this commemoration of Bruno's work. It concerns the dawn of the «universal weak interaction». In 1947, in experiments with negative cosmic ray «mesotrons» (now called muons) stopped in matter, Conversi, Panchini and Piccioni [4] discovered that the fraction that decays rather than being absorbed by the nucleus depends sensitively on the atomic number. Pontecorvo [5], in a letter to the Physical Review, noted that when account is taken of the difference in Bohr radius, the measured muon capture rates are in fact comparable to electron capture rates. However this first vision of the universal weak interaction went unnoticed. It took two more years, and the additional understanding of muon decay, as the third example of the weak interaction, for universality to be reproposed [6]*, and accepted.

Why did this first smell of universality go unrecognized? In retrospect it was a discovery of the highest importance. No one should have been more interested than our teacher, Fermi, the originator of the theory of β decay. At the time, Fermi devoted a large fraction of his energy to the first postwar crop of graduate students**, and he discussed his physics interest with us a great deal, daily. However, the subject of the Pontecorvo suggestion of universality, as best I can remember, never came up. Forty years later I became aware of Pontecorvo's letter and asked myself how could Fermi not have noticed it? The physics literature at the time was much less heavy than now, so that there can be little doubt that Fermi read Pontecorvo's letter. Recently I have had the chance to ask C.N.Yang, who was as close then to Fermi as anyone, if he could remember Fermi ever commenting on the Pontecorvo letter, but also Yang believed that Fermi never mentioned it. The only conclusion seems to be that Fermi

*It may be interesting to note that none of these three later works referred to the letter of Pontecorvo

**The students were a rather remarkable group; they included Chamberlain, Chew, Goldberger, Lee, Rosenbluth, Wolfenstein and Yang

© J Steinberger, 1997

rejected this first glimpse of universality. New, fundamental concepts are not always easy to recognize, even by the best.

Pontecorvo went on to make a number of other remarkable, penetrating and original suggestions, of the highest importance in the development of particle physics. Among these, the most pregnant were the suggestion for the detection of solar neutrinos using ^{37}Cl [7], the possibility that neutrinos oscillate from particle to antiparticle [8], or from one flavor to another [9], and that one should use the neutrinos of muon decay to check the identity of electron and muon neutrinos [10]. The profound questions raised by Pontecorvo were the precursors to a great deal of experimental activity, some of the most important in both particle and astrophysics of the second half of the 20th century. At present there are three large solar neutrino experiments in operation and others are in preparation. These are crucial to our understanding of both solar energy production as well as neutrino oscillations, masses and mixing angles. Here at CERN we now have two massive experiments to search for the tau neutrinos in a muon neutrino beam. A positive result would demonstrate neutrino oscillations, the separate identity of the tau neutrino and provide a measure of its mass, all in one blow, to say nothing of producing cosmic dark matter.

My own work was at least twice motivated by Pontecorvo's ideas: the search for the identity of the muon neutrino in 1961—1962, and an experiment to search for neutrino oscillations twenty years later. The 1959 idea of Pontecorvo to check the identity of muon and electron neutrinos was followed, independently, by the suggestion of Schwartz in 1960 [11] to study the interactions of high energy neutrinos. The motivation of the Schwartz paper was somewhat different, broader and less specific than Pontecorvo's. Schwartz responded to the question of T.D.Lee: «how might one be able to study the weak interaction at energies above those available in the particle decays» known at the time. These decays were the basis of all that was then known about the weak interaction. This was a timely question, since two accelerators then under construction, one at Brookhaven National Laboratory, the other at CERN, for the first time offered the possibility of producing pions and kaons in sufficient numbers, with sufficient energy and with sufficient collimation, to make neutrino beams and their interactions a conceivable practical possibility.

The Schwartz paper proposing neutrino beams, which was followed by a paper of T.D.Lee and C.N.Yang [12] listing several fundamental aspects of the weak interaction as well as properties of nuclear structure, which could be studied with neutrino beams, inspired the BNL experiment that was first able to see the independent identity of muon and electron neutrinos [13], as well as the CERN experiments which were crowned in 1973 with the discovery of the neutral current [14], the important discovery that established the new electroweak gauge theory overnight.

My second voyage in the wake of Pontecorvo's seminal questions was an attempt to see neutrino oscillations in an experiment at CERN. This looked for the oscillation of muon neutrinos into any other flavor. The negative result [15], as those of other accelerator experiments, could only exclude a portion of the mass difference-mixing angle plane.

There are few of us in particle physics who can boast of a single original and important idea. Bruno's wealth of seminal suggestions establishes him as a truly unique contributor to the remarkable advance of particle physics during this past half century.

REFERENCES

1. *Steinberger J.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.500; Phys. Rev., 1949, vol.75, p.1136.
2. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.697; Phys. Rev., 1949, vol.77, p.102.
3. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1948, vol.73, p.257.
4. *Conversi M., Pancini E., Piccioni O.* // Phys. Rev., 1947, vol.71, p.209.
5. *Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1947, vol.72, p.246.
6. *Puppi G.* // Nuovo Cimento, 1948, vol.5, p.587;
   Tiomno J., Wheeler J.A. // Rev. Mod. Physics, 1949, vol.21, p.144;
   Lee T.D., Rosenbluth M., Yang C.N. // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.905.
7. *Pontecorvo B.* // Chalk River Laboratory report #PD-205, 1946, declassified in 1949.
8. *Pontecorvo B.* // Sov. Phys. — JETP, 1958, vol.34, p.247.
9. *Pontecorvo B.* // Sov. Phys. — JETP, 1967, vol.53, p.1717.
10. *Pontecorvo B.* // Sov. Phys. — JETP, 1959, vol.37, p.1751.
11. *Schwartz M.* // Phys. Rev. Lett., 1960, vol.4, p.306.
12. *Lee T.D., Yang C.N.* // Phys. Rev. Lett., 1960, vol.4, p.307.
13. *Danby G. et al.* // Phys. Rev. Lett., 1962, vol.9, p.36.
14. *Hasert F.J. et al. The Gargamelle collaboration* // Phys. Lett., 1973, vol.46B, p.138.
15. *Dydak F. et al.* // Phys. Lett., 1984, vol.134B, p.281.

ENCOUNTER WITH BRUNO 1948—1949

L.M.Lederman

Fermi National Accelerator Laboratory, USA

In 1947, I was a graduate student at Columbia University. Gilberto Bernardini was a visiting professor from Rome and we worked together preparing for the new proton accelerator which was under construction at Columbia — the 400 MeV synchrocyclotron. New York City was, of course, a stopping place for Europeans and Bernardini was a magnet for Italian physicists. Through Gilberto, I met Segrè, Fermi, Amaldi, de Bennedetti, Rossi, Rasetti and so many other physicists who had occasion to pass through New York. And one day, it was Pontecorvo. Gilberto had been excited by his work, then at Chalk River, on low efficiency Geiger counters which would preferentially fire on large deposits of radiation for cosmic ray triggers. So I looked forward to meeting yet another Italian emigre scientisis. That day a young, handsome man (dressed in a sport jacket that must have been avant-garde fashion for that era) came in carrying a tennis racket under his arm. Thinking that was one of Columbia's pampered and wealthy students, I asked whether he was lost. No, he was looking for Professor Bernardini.

Bruno was different. He talked rapidly and enthusiastically about tennis, baseball, low efficiency counters, cosmic ray physics, pions and muons, movies, girls, politics. He was cheerful and to this overworked and rather crushed graduate student, he was a man of the world — full of the zest for life, for the life of physics but also for life outside of physics. His mind raced and ideas tumbled out at a huge speed. He was a new phenomenon and made a lasting impression on one New York graduate student.

© L.M.Lederman, 1997

ORIGINS OF THE TWO NEUTRINO EXPERIMENTS*

L.M.Lederman

From the opening talk at Neutrino'94 Conference, Eilat, 1994

A few years after Pauli's desperate conjecture, Bethe calculates the neutrino-nucleon scattering cross section to be

$$\sigma = 10^{-44}\ \text{cm}^2 \ \text{at}\ E = 1\ \text{MeV}, \tag{1}$$

giving rise to the «one light year of lead» mean free path. Pontecorvo noted that reactor fluxes and radiological techniques can overcome this and, with a different reactor, Reines et al. see neutrinos. In 1958, Pontecorvo gets his second (or third?) big idea by reviewing the puzzle of unobserved reactions:

$$\begin{aligned} \mu + p &\not\to e + p, \\ \mu &\not\to e + e + e, \\ \mu &\not\to e + \gamma. \end{aligned} \tag{2}$$

These experimentally highly forbidden reactions violated no conservation law and (perhaps) gave rise to the Gell-Mann totalitarian dictum that everything that is not forbidden is compulsory.

At the 1958 Kiev/Rochester Conference and in a subsequent JETP Letter, he proposes a test to see if the «muon» and «electron» are separately conserved. He writes:

$$\begin{aligned} \bar{\nu}_\mu + p &\overset{?}{\to} \mu^+ + n, \\ \bar{\nu}_\mu + p &\overset{?}{\to} e^+ + n, \end{aligned} \tag{3}$$

pointing out that we know:

$$\bar{\nu}_e + p \to e^+ + n.$$

By «ν_μ», Pontecorvo means the neutral lepton born with the muon in pion decay:

$$\pi \to \mu + \nu_\mu. \tag{4}$$

Now the plot thickens.

In 1959, Mel Schwartz, at Columbia, stimulated by T.D.Lee's concern with the unitarity crisis in the weak interactions, gets HIS idea: use neutrinos from the decay of high energy pions to study the cross section $\sigma(\nu p)$. Even though the μ-e-γ problem is widely discussed at Columbia by Feinberg and Lee, Schwartz' paper only discusses the high energy behaviour of weak collisions — clearly only neutrinos can do it.

*Nucl. Physics, 1995, vol.B38, p.7, Suppl.

© L.M.Lederman, 1997

Pontecorvo's paper selects the neutrinos from stopped pions, briefly noting that decay-in-flight neutrinos do have a higher cross section but he dismisses this idea because the pions also have a longer decay mean-free path. What he did was to throw away a factor of several hundred, not only in $\sigma(E)$ but also in forward collimation of the decay-in-flight neutrinos and the greater ease of detecting and distinguishing the high energy collision product electrons and muons.

Note also that Schwartz' letter correctly estimates an optimistic (it's correct to be optimistic) 1 event/hr for the AGS at BNL, then nearing completion, and concludes that the experiment cannot be done until a really high intensity machine is built!

The net result of these is that in 1959, Pontecorvo proposes to address the right question but with a hopeless technique (he needed a 10^{15} protons per second machine at about 1 GeV) aided by an interesting error and Schwartz addresses a problem that doesn't get solved until the 1982 discovery of the W but his proposal is the right experiment to solve the $\nu_\mu \neq \nu_e$ problem leading directly to this assembly in Eilat in 1994.

But Bruno Pontecorvo is not finished with his contributions — in 1967 he proposes neutrino oscillations as a way of observing violations of lepton charge conservation. He relates a possible non-vanishing neutrino mass to CP non-conservation and discusses astronomical implications.

The rest, as they say, is history.

БРУНО ПОНТЕКОРВО И ПАРИЖ

Ж.Лаберриг-Фролова

Университет им. Пьера и Марии Кюри, Париж

Накануне второй мировой войны, в конце 30-х годов, в лаборатории Фредерика Жолио-Кюри, в Коллеж де Франс, безусловно все знали имя и работы Бруно Понтекорво. Те, кто работал в лаборатории перед войной, хорошо помнили его.

Пребывание в Париже

С 1936 по 1940 г. Бруно Понтекорво работал с Фредериком Жолио-Кюри в Институте радия, в Коллеж де Франс и в лаборатории атомного синтеза в Иври*. Бруно Понтекорво приехал из Рима, где работал с Энрико Ферми после окончания в 1932 г. Римского университета. Он был самым молодым, но не менее блестящим в этой замечательной группе «парней с улицы Паниспèрна»** и внес существенный вклад в столь бурное развитие нейтронной физики.

Работы Бруно Понтекорво по замедлению нейтронов и их захвату ядрами принесли ему премию Министерства национального образования, что давало возможность поработать за границей. Посоветовавшись с Энрико Ферми, Бруно Понтекорво выбрал Париж и работу у Фредерика Жолио-Кюри. Там он продолжает исследование замедления нейтронов и их захвата ядрами и публикует работы «О происхождении неоднородности излучения при захвате нейтронов ядрами» [1] и «О рассеянии моноэнергетических нейтронов протонами» [2].

Работы по ядерной изомерии

Бруно Понтекорво интересовался также ядерной изомерией. В 1917 г. Ф.Содди высказал предположение о существовании этого явления, и первым известным примером был изомер урана *X* — уран *Z*, открытый О.Ганом в 1921 г. (сегодня мы знаем, что это два β-радиоактивных изомера ^{234}Pa). Долгое время полагали, что ядерная изомерия — явление исключительно редкое. Но после открытия в 1934 г. Ирэн и Фредериком Жолио-Кюри искусственной радиоактивности были предприняты попытки получить радиоактивные изотопы бомбардировкой стабильных элементов различными частицами; так были найдены много-

Перевод с французского Т.Д.Блохинцевой.

*Пригород Парижа. (*Здесь и далее примечание переводчика*)

**Так называли группу Э.Ферми. Институт физики Римского университета находился на улице Панисперна.

© Ж Лаберриг-Фролова, 1997

численные случаи ядерной изомерии, первым из которых был ^{80}Br, обнаруженный И.В.Курчатовым и др. [3]. После этого интерес к ядерной изомерии возрос.

В Париже Бруно Понтекорво работал над этой темой практически в одиночку. Конечно, он пользовался ценными советами своего второго учителя Фредерика Жолио-Кюри, о чем позднее рассказывает в своих автобиографических заметках [4].



В Коллеж де Франс Ф.Жолио-Кюри (справа), Б.Понтекорво (на заднем плане). Париж, 1940 г.

В 1936 г. К.Вейцзеккер предложил механизм, объясняющий метастабильность возбужденного изомерного состояния: он предположил, что угловой момент первого возбужденного уровня отличается на много единиц от момента основного состояния.

Немного позднее, в 1937 г., Фредерик Жолио-Кюри организует в Париже «Конгресс дю Пале де ля Декуверт*». Там Бруно Понтекорво выдвигает качественные соображения «Относительно возможного существования β-стабильных изомеров» [5], которые затем приводят его к открытию этих изомеров. Уже здесь проявилось то, что характеризует все научное творчество Бруно Понтекорво: для

*Пале де ля Декуверт — центр популяризации науки.

него теория не является абстракцией, он умеет делать конкретными теоретические заключения и, обладая выдающимися качествами экспериментатора, разработать до мельчайших деталей фундаментальные эксперименты.

Много лет спустя, в 1984 г., по случаю празднования пятидесятой годовщины открытия искусственной радиоактивности, Бруно Понтекорво опишет обстоятельства, условия и атмосферу этих исследований по ядерной изомерии. Ниже следует резюме, извлеченное мною из статьи «Некоторые ранние исследования по ядерной изомерии» [6].

Бруно Понтекорво выдвигает идею, заключающуюся в следующем: поскольку не наблюдается испускания γ-лучей при переходе из возбужденного изомерного состояния в основное, то здесь должна иметь место сильная внутренняя конверсия этих лучей; следовательно, нужно искать электроны конверсии. Последние имеют маленькую энергию, в связи с чем их трудно детектировать; в этом, по-видимому, и заключается причина того, что указанный процесс еще не изучен [7]. Он предсказывает также, что многие не очень легкие ядра могут быть возбуждены до этих метастабильных состояний [8]. Кроме того, Бруно Понтекорво выдвигает гипотезу о том, что должны существовать β-стабильные изомеры, впрочем, весьма редкие. Эти изомеры особенно интересны, поскольку излучение, испускаемое при переходе, «не маскируется» β- и γ-лучами. Таким образом, изомерия может быть лучше исследована; внутренняя конверсия сопровождается испусканием рентгеновских лучей, анализ которых представляет исключительный интерес для интерпретации изомерии.

Для детектирования излучения малой энергии Бруно Понтекорво конструирует цилиндрические счетчики Гейгера—Мюллера диаметром 2 мм и длиной 40 мм с пятимикронной алюминиевой стенкой, заполненные воздухом при атмосферном давлении. Эту технику он изучал вместе со своими флорентийскими друзьями Дж.Бернардини, Д.Бочарелли и Дж.Оккиалини.

Изомеры могут быть получены либо в ядерных реакциях, либо в радиоактивных распадах. Бруно Понтекорво выбирает индуцированные медленными нейтронами реакции, которые он хорошо знает. В качестве мишени он использует родий, который, как и бром, является хорошим кандидатом для такого исследования. Выбор обусловлен причиной чисто сентиментальной. В Риме он работал над радиоактивностью родия, индуцированной нейтронной бомбардировкой, причем эта радиоактивность служила индикатором нейтронов. Бруно Понтекорво обнаружил два периода полураспада — 44 с и 4,2 мин (позже он расскажет, что пробежал по меньшей мере 100 км с радиоактивным родием).

С помощью «рудиментарного» метода измерения поглощения и простой установки (источники нейтронов Rn + Be, тонкие мишени из родия и тонкостенные гейгеровские счетчики) он установил, что мягкая компонента обусловлена излучением от внутренней конверсии, сопровождающей переход изомерного состояния в основное состояние родия с периодом полураспада 4,2 мин, тогда как период полураспада 44 с соответствует β-распаду ^{104}Rh с переходом в основное состояние ^{104}Pd [9].

В этом исследовании родия Бруно Понтекорво думал использовать кадмий в качестве подложки источника. Он знал, что бомбардировка кадмия медленными

нейтронами не приводит к интенсивной радиоактивности. В то же время подготовительные эксперименты, в которых можно было наблюдать очень мягкое излучение, показали, что при бомбардировке быстрыми нейтронами кадмиевая подложка становилась радиоактивной с периодом полураспада $T = 50$ мин. Как показал химический анализ, проведенный вместе с М.Доде, эта радиоактивность была обусловлена изотопом кадмия. Испускаемое излучение было приписано β-стабильному изотопу кадмия, причем этот изотоп получался не путем захвата нейтрона, а в реакции $(n, n\gamma)$ без захвата быстрых нейтронов. Эта реакция была известна Бруно Понтекорво еще со времени его работы в Риме, когда он изучал неупругое рассеяние быстрых нейтронов в свинце. Совместно с М.Доде он представляет работу «О радиоэлементе, образованном в кадмии под воздействием быстрых нейтронов».

Это был первый пример изомера, возбужденного быстрыми нейтронами.

Ядерная фосфоресценция

Бруно Понтекорво предположил, что другим способом получения β-стабильных изомеров может служить облучение мишени рентгеновскими лучами, энергетический спектр которых непрерывен, но с энергией ниже порога развала ядра; тогда трансмутация ядра мишени невозможна и не происходит рождения радиоактивных изотопов, излучение которых мешало бы наблюдению мягких электронов. В таком случае эксперимент является более «чистым». Высокие уровни ядра возбуждаются чем-то вроде ядерной «флюоресценции», и испускание «флюоресцентных» γ-лучей может оставить ядро в метастабильном состоянии, которое детектируется по излучению, сопровождающему изомерный переход.

В 1939 г. вместе с А.Лазаром он ставит эксперимент в лаборатории атомного синтеза в Иври, руководимой Ф.Жолио-Кюри. Используется рентгеновская трубка типа Браша—Ланге с энергией около 3 МэВ. Облучая индиевую фольгу, они получают β-стабильный изомер ^{115}In с периодом полураспада 4 часа.

Мечта Бруно Понтекорво исполнилась: эффект открыт, получены возбужденные состояния других элементов. Этот эффект очень понравился Фредерику Жолио-Кюри, и он дает ему название «ядерной фосфоресценции». Бруно Понтекорво представляет в Академию наук работу «Ядерная изомерия, образованная рентгеновскими лучами непрерывного спектра» [10].

Он посылает эту статью Э.Ферми, своему первому учителю, который только что получил Нобелевскую премию и находится в США. В ответ Э.Ферми присылает ему свои «горячие поздравления в связи с блестящими результатами этого исследования», что доставляет Бруно Понтекорво большое удовольствие: он ведь был убежден, что если Ферми и испытывает к нему некоторое уважение, то исключительно как к специалисту по теннису.

За работы по ядерной изомерии Б.Понтекорво удостоен премии Карнеги—Кюри. В статье [11], опубликованной в журнале «Nature», он дает оценку этим исследованиям.

Работы, сделанные в Париже, ярко характеризуют стиль Бруно Понтекорво: культура, элегантность, динамизм, но также жизнерадостность и юмор. Он любил — и с какой серьезностью! — придумывать и осуществлять эксперименты и в то же время, по его собственному выражению, обожал «заниматься альпинизмом, быстро забираясь на верхушку очень высокого импульсного генератора».

Друзья в Париже

В Париже у Бруно Понтекорво завязывается крепкая дружба в первую очередь с супругами Жолио-Кюри, а также со многими другими: молодым Полем Эренфестом, Робером Валеном, Бертраном Гольдшмидтом и Пьером Оже (с двумя последними он встретится в Чок-Ривере* в 1942 г.). Все сохранят к нему искренние дружеские чувства и будут часто вспоминать о нем, говоря: «Ни с кем в жизни я так не смеялся, как с Бруно». Бруно Понтекорво также навсегда останется преданным другом.

Итак, Париж — блестящий период его научной жизни. Но не только. Именно в этом городе, который он всегда находил «таким симпатичным», определилась его судьба, его назначение. Именно здесь он, молодой блестящий итальянец, влюбленный в физику и в теннис, посвящает себя идеалам гуманизма. Этим идеалам он останется верным навсегда. Именно в Париже он женился на молодой шведке Марианне Нордблом, в Париже родился первый из трех сыновей — Джиль.

В период с 1936 по 1940 г. международная обстановка была тревожной. В окружении Жолио-Кюри и особенно рядом со своими итальянскими друзьями, политическими эмигрантами, Бруно Понтекорво не мог оставаться пассивным перед грозной опасностью фашизма.

В июне 1940 г. Франция оккупирована немцами. Семья Понтекорво вынуждена покинуть Париж. Это — массовое бегство, исход. Молодой Бруно Понтекорво, гуманист, пацифист, идет навстречу своей судьбе, которую он связывает с будущим мира.

Связи после 1944 г.

После окончания второй мировой войны Бруно Понтекорво возобновляет контакты с Фредериком Жолио-Кюри. Они обмениваются письмами.

В сентябре 1945 г. из Монреаля, где он работает в Государственном комитете по исследованиям, Бруно Понтекорво пишет:

«Дорогой господин Жолио,

...Я только что принял господина Бутри, который передал мне Ваше предложение приехать к Вам работать *сейчас*. Как Вы знаете, я очень люблю работать с Вами и в Париже, и я надеюсь, что в будущем мне представится возможность поработать в Париже. Но сейчас мне нельзя покинуть лабораторию в Монреале, потому что я участвую в работе, которую хочу и должен закончить. В любом

*Ядерный центр в Канаде

случае, благодарю Вас за столь лестное приглашение и надеюсь, я повторяю, что в будущем смогу поработать в Париже...».

Фредерик Жолио-Кюри, верховный комиссар по атомной энергии, пишет ему 20 февраля 1946 г.:

«...Таким образом, мы надеемся когда-нибудь снова увидеть Вас, и смею Вас заверить, что Вы оставили здесь чувства глубокой симпатии, и каждый из нас высоко ценит Ваши моральные и научные качества...».

Затем 27 апреля 1946 г.:

«...Я часто думал о Вас и о том удовольствии, которое доставляло мне Ваше присутствие в лаборатории Коллеж де Франс... Мы были бы рады видеть Вас в нашей группе, как и раньше, в Коллеж де Франс в удобное для Вас время. Могу заверить, что Вы оставили здесь самые приятные воспоминания и что для меня было бы большой радостью снова работать с Вами...».

20 мая 1946 г. Бруно Понтекорво пишет снова:

«...Я поздравляю Вас и Ваших коллег с успехом, а также с тем, что Вы хотите работать только в том направлении ядерной науки, которое идет на благо человечества. Все физики хотели бы, чтобы быстрее исчезли научные секреты и барьеры. Я благодарю Вас также за столь приятные слова, сказанные в мой адрес; как Вы знаете, у меня сохранились самые лучшие воспоминания о времени, которое я провел в Париже, работая в Вашей лаборатории, и я рассматриваю как большую привилегию возможность снова поработать в Париже. В настоящее время я еще очень занят работой в Канаде и Англии...».

Визит в лабораторию

В 1949 г. Бруно Понтекорво посетил лабораторию Ф.Жолио-Кюри. Он провел семинар, и там я впервые увидела человека, о котором все, кто знал его, вспоминали с восторгом и которого Ф.Жолио-Кюри называл своим лучшим учеником. Он рассказывал о захвате *K*-мезона аргоном-37, без бумажек, очень сосредоточенно, целиком погруженный в тему семинара. Он быстро ходил взад-вперед в столь характерной для него манере.

Да, культура и элегантность — качества, свойственные Бруно Понтекорво. Я не знала тогда важности *K*-захвата аргоном-37 и метода, изобретенного Бруно Понтекорво для детектирования нейтрино, которым он посвятит большую часть своего научного творчества и для которых он откроет так много способов исследования. Немного позднее, в воскресенье, в Со* у Ирэн и Фредерика Жолио-Кюри я снова увидела Бруно Понтекорво с женой Марианной. Было много гостей, он разговаривал с друзьями, но также, с самым серьезным видом и ласково, с маленькими детьми, которым он показывал, как умеет «клаксонить» с помощью ладоней.

Тогда я еще не знала, что 9 лет спустя, в 1958 г., Фредерик Жолио-Кюри отправит меня на восемь месяцев в Дубну, в Лабораторию ядерных проблем. В на-

*Пригород Парижа.

шей лаборатории мы начали интересоваться физикой элементарных частиц, и надо было войти в курс того, что происходило в крупных центрах вокруг больших ускорителей. Спасибо Венедикту Петровичу Джелепову, директору Лаборатории ядерных проблем, что он решил направить меня в группу Бруно Понтекорво.



Слева направо: В.П.Джелепов, Я.А.Смородинский, Ж.Лаберриг-Фролова, Б.Понтекорво, И.Г.Покровская. Дубна, 1964 г.

Возможно, именно из-за того, что я приехала из Парижа, из той лаборатории, где он был счастлив, Бруно Понтекорво сделал все, чтобы наше пребывание прошло как можно лучше. Я говорю «наше», потому что приехала в Дубну со своей дочерью Анн, которой тогда было пять лет. Здесь я узнала, что культура и элегантность Бруно Понтекорво сочетается с исключительными человеческими качествами (не говорили ли его родители, что Бруно самый добрый из их детей!).

Таким образом, именно Бруно Понтекорво руководил моими первыми шагами в физике высоких энергий, в физике элементарных частиц. Его внимание по отношению ко мне с тех пор никогда не ослабевало. Как и многие, я обязана ему тем, о чем много лет спустя в Риме сказал Дж.Сальвини: самое замечательное, что Бруно Понтекорво умел дать своим ученикам, — это научить их верить в себя.

В мае 1958 г. Фредерик Жолио-Кюри прибыл с визитом в Москву. Он провел один день в Дубне, и здесь учитель и его ученик встретились снова, и с большой радостью. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на фотографию, где Фредерик Жолио-Кюри встречает Бруно Понтекорво перед административным зданием Объединенного института ядерных исследований. Тогда Бруно Понтекорво не знал, что он еще вернется в Париж, в Коллеж де Франс, но много позже, в 1989 г., т.е. через 31 год.



Встреча перед административным корпусом ОИЯИ, Дубна, 1958 г. Ф.Жолио-Кюри (в центре) видит Б.Понтекорво. Справа от Ф.Жолио-Кюри директор ОИЯИ Д.И.Блохинцев, за ним И.Е.Тамм

Фредерик Жолио-Кюри умер 14 августа 1958 г., через несколько месяцев после визита в Дубну. Бруно Понтекорво был глубоко потрясен этой преждевременной кончиной и с большой сердечностью выразил свои соболезнования.

Я вернулась во Францию за несколько дней до этого, зная, что Фредерик Жолио-Кюри хотел бы, чтобы я продолжила исследования в той области физики, которой начала заниматься в Дубне.

Связи Бруно Понтекорво с Парижем никогда не прерывались: переписка, регулярные визиты и работа в Дубне физиков нашей лаборатории. В течение многих лет приезжал в Дубну его друг Робер Вален. Научные обмены становились более частыми, так же как и международные встречи. В различных лабораториях мира проводились исследования по идеям Бруно Понтекорво: он открыл путь для развития физики нейтрино. Сегодня группа из моей лаборатории участвует в исследованиях осцилляций нейтрино в эксперименте «NOMAD», проводимом в ЦЕРНе.

В июне 1984 г. дочь Ирэн и Фредерика Жолио-Кюри Элен Ланжевен, работающая в области ядерной физики, побывала в Дубне. Ее сфотографировали в том



Встреча в Дубне. Элен Ланжевен (дочь Ирэн и Фредерика Жолио-Кюри) и Б.Понтекорво. 1984 г.

самом месте, где за 26 лет до этого ее отец встретил Бруно Понтекорво. Сияет радостью лицо Элен при виде того замечательного человека, которого она, будучи ребенком, знала в Париже.

История науки

Бруно Понтекорво интересовался историей науки. Он оставил ценные свидетельства, касающиеся физики элементарных частиц.

В 1982 г. с 21 по 23 июля мы организовали в Париже международный симпозиум «История физики элементарных частиц: 1930-е—1950-е годы (некоторые открытия, концепции, обоснования)». Чтобы представить свои свидетельства, собрались физики с самыми громкими именами. Этот симпозиум стал событием. Труды его часто цитируются.

По причинам, не имеющим отношения к науке, Бруно Понтекорво не смог воспользоваться приглашением своих коллег приехать в Париж. И все-таки в некотором смысле он был с нами. Действительно, он прислал на симпозиум свою работу «Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания» [12]. Это важный документ, где Бруно Понтекорво воскрешает в памяти некоторые события, которые оказали глубокое влияние на его научное творчество в том, что касается нейтрино, их детектирования, свойств мюонов и понятия слабого взаимодействия.

Присутствующие на симпозиуме физики весьма сожалели, что Бруно Понтекорво нет с ними, широко цитировали его работы. Они выразили свое уважение и дружеские чувства, адресовав ему почтовую открытку, фотокопия которой представленная здесь. Фамилии ученых, подписавших ее, впечатляют.

В 1984 г. в торжественной обстановке праздновали пятидесятую годовщину открытия искусственной радиоактивности Ирэн и Фредериком Жолио-Кюри. К большому сожалению участников и организаторов этого торжества, Бруно Понтекорво не смог приехать. Тем не менее он внес свой вклад, прислав статью «Некоторые ранние исследования по ядерной изомерии». Эта статья опубликована в специально изданной по случаю торжества книге [6].

Снова в Париже

Бруно Понтекорво приехал в Париж в 1989 г., всего на одну неделю. 11 сентября он провел семинар в Коллеж де Франс — «Встречи с физиками предвоенного периода (Ферми, Майорана, Жолио...), автобиографические заметки».

По прибытии в Париж Бруно Понтекорво с большой теплотой и уважением был принят профессором Коллеж де Франс Марселем Фруассаром, директором лаборатории, преемником на этой должности Луи Лепренса-Ренге, который, в свою очередь, унаследовал этот пост от Фредерика Жолио-Кюри.

Оказавшись в местах, где 50 лет назад он провел столь значимые в его жизни годы, Бруно Понтекорво был так взволнован, что это удивляло даже его самого.

Как и раньше, он говорил элегантно и темпераментно, но, мучимый болезнью Паркинсона, уже не ходил взад-вперед. Этот семинар также представляет важный вклад в историю физики элементарных частиц.

Немногим более двух лет спустя, в декабре 1991 г., Бруно Понтекорво снова приехал в Париж, опять по приглашению профессора Пьера Леманна, директора

Paris 23 Juillet 1982.

Cher Bruno

Vos amis vous saluent! Ils auraient tant aimé que vous soyez là. On a beaucoup parlé de vous et de vos travaux et on espère vous voir bientôt.

Photocopie de la carte adressée au Professeur Bruno Pontecorvo par les Participants au Colloque international sur l'Histoire de la Physique des Particules Elementaires (Paris Juillet 1982) Parmi les Signatures. V. Weisskopf, J. Schwinger (Prix Nobel), Bruno Rossi, E. Amaldi, Yang (Prix Nobel), Occhialini, E. Wigner (Prix Nobel), Pierre Auger, R. Wilson, L. Lederman, Herbert Anderson, Dalitz, Telegdi, L. Michel, M. Gell Mann (Prix Nobel), Van Dardel, Francis Perrin, Louis Leprince-Ringuet, R. Armenteros, A. Martin –

et Valentin Telegdi

Фотокопия приветственной открытки, посланной Бруно Понтекорво участниками Парижского симпозиума по истории физики элементарных частиц

IN2P3*. На этот раз он встретился с физиками, обсуждал эксперименты по нейтрино. В Институте радия был организован семинар, на котором он встретил своих



После семинара в Коллеж де Франс. Париж, 1989 г.

друзей Робера Валена и Бертрана Гольдшмидта. Как всегда, ему была приятна встреча с талантливыми людьми, встреча, которая дарит радость взаимного обогащения.

Он посетил Пале де ля Декуверт, в торжественном открытии которого когда-то принимал участие. Был счастлив, когда обнаружил там камеру Вильсона, сконструированную еще Полем Эренфестом. Бруно Понтекорво присутствовал на заседании Академии наук, где встретил Луи Мишеля и Луи Лепренса-Ренге, с которым ему когда-то так нравилось беседовать о физике, а также играть в теннис. На набережных он снова увидел букинистов.

Довольно долго он беседовал с историком Мишелем Пино, который писал диссертацию о Жолио-Кюри. Среди прочего Бруно Понтекорво рассказал ему, как в 1936 году Фредерик Жолио-Кюри попросил его провести совместно эксперимент. Речь шла о том, чтобы посмотреть, идентичны ли β-лучи электронам. Эксперимент не дал убедительных результатов, и публикации не было. И все-таки этот эксперимент имел некоторое значение, если говорить о реакциях типа обратного β-распада; именно по ассоциации с идеей этого эксперимента Бруно Понтекорво в 1947 г. предложил обратную реакцию:



$$\text{нейтрино} + {}^{37}\mathrm{Cl} \rightarrow {}^{37}\mathrm{Ar} + \text{электрон},$$

значение которой для детектирования нейтрино хорошо известно.

*Институт ядерной физики и физики частиц, Франция.

Несколько дней спустя, после посещения выставки «Макс Эрнест» в Бобуре* Бруно Понтекорво сидел в кафе, казалось, забыв обо всех делах. И вдруг он захо-

Caro Michel, sono d'accordo con la seguente versione del testo che mi hai mandato corretta con l'aiuto di Madame J.L Laberrigue. Buonanno B. Pontecorvo
Paris le 13-12-91

ENTRETIEN DU LUNDI 9 DECEMBRE 1991

Vers 1936 Frédéric JOLIOT m'a demandé de faire avec lui une expérience pour voir si les rayons β (bêta) de désintégration radioactive étaient identiques aux électrons [illegible] Il croyait que peut-être les rayons β (bêta) n'étaient pas des électrons. JOLIOT pensait qu'on pouvait peut-être faire naître de la radioactivité β (bêta) par bombardement de noyaux par des rayons β (bêta) ~~et non pas par des électrons~~.
JOLIOT m'avait demandé de faire cette expérience avec lui car le laboratoire où je travaillais était très propre et que chez FERMI j'avais ~~déjà travaillé sur des réactions de faible intensité~~.
Cette expérience n'a pas donné de résultat concluant et il n'y a pas eu de publication. Cependant elle est restée ancrée dans mon esprit [illegible] que ~~j'ai pu~~, en 1947, imaginer la réaction
neutrino + Chlore 37 ------> Argon 37 + électron
permettant de détecter les neutrinos. Cette réaction a ensuite été utilisée ~~par des groupes qui ont~~ étudié les neutrinos solaires. Dans cette réaction ~~il s'agit~~ d'extraire ~~les faibles quantités~~ d'Argon produites par des procédés radio-chimiques.

spéciales — par rapport à l'Institut du Radium — du Collège de France — acquis une longue expérience — C'est ainsi que — par association d'idées — aux U.S.A. — pour — on doit — d'une énorme masse de chlore — extrêmement — des quantités extrêmement faibles — radioactif — par les neutrinos — de travail avec les éléments radioactifs.

Il s'agissait de provoquer certaines réactions, qui rappellent les réactions inverses des désintégration β (bêta

Правка Б.Понтекорво текста интервью о Ф.Жолио-Кюри, данного Мишелю Пино

тел внести уточнения в текст, который был предоставлен ему Мишелем Пино после беседы. Этот документ, копия которого здесь приведена, очень интересен: видно, с какой тщательностью и до малейших деталей точно писал Бруно Понте-

*Культурный комплекс с большой библиотекой и выставочными залами в центре Парижа.

корво. Те, кто работал с ним, хорошо знают эту его манеру... Во время этого пребывания в Париже Бруно Понтекорво остановился в гостинице «Пантеон» на площади Пантеон, по соседству с гостиницей «Великие люди», той самой, где он жил с 1936 по 1940 г. и где, как он любил шутить, ему доводилось «сталкиваться» с Андрэ Мальро*. Бруно Понтекорво безусловно забавляло название этой, в те времена весьма скромной, гостиницы, расположенной недалеко от Института радия и Коллеж де Франс.

Бруно Понтекорво снова был в том районе Парижа, где когда-то определилась его судьба. Он старался понять логику своего выбора. Но надо ли искать логику для объяснения его поступков, всегда определяемых благородным порывом, неизменной преданностью гуманистическим идеалам? Все близкие Бруно Понтекорво хорошо знали, насколько глубоко заботила его судьба человечества.

Бруно Понтекорво по-прежнему с нами, его близкими и друзьями. То же самое можно сказать и про его коллег-физиков. С 9 по 13 августа 1995 г. во Флоренции был проведен блестящий международный симпозиум в честь трех великих физиков, ушедших от нас практически в одно время: Бруно Понтекорво, Бруно Росси и Джузеппе Оккиалини, творчество которых связано с Наукой и Гуманизмом. Я присутствовала на этом симпозиуме и могу засвидетельствовать всю глубину уважения и любви, выраженных в адрес Бруно Понтекорво сообществом физиков.

По случаю этого симпозиума в церкви Санта-Кроче во Флоренции была открыта мемориальная доска с барельефом, посвященная Энрико Ферми, «который первым дал человечеству ядерную энергию». Мемориальная доска помещена неподалеку от саркофагов Галилея и Микеланджело.

Новые поколения физиков продолжат научные исследования по направлениям, открытым Бруно Понтекорво.

Развивающаяся физика возьмет с собой и творчество Бруно Понтекорво.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pontecorvo B.* // J. de Phys. et de Radium, 1936, t.7, No.12, p.511.
2. *Pontecorvo B.* // C. R. Acad. Sci., 1938, t.206, No.3, p.1003.
3. *Курчатов И.В. и др.* // Изв. АН СССР, 1935, № 299, с.1001.
4. *Pontecorvo B.* Una Nota Autobiografica // Scienza e Tecnica, Annuario della EST, 1988, p.189.
5. *Pontecorvo B.* // Travaux du Congres du Palais de la Decouverte, Paris, 1937, p.118.
6. *Pontecorvo B.* // La Radioactivite Artificielle a Cinquante Ans. Ed. de Physique, CNRS. 1984, p.59.
7. *Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1938, vol.54, No.7, p.542.
8. *Pontecorvo B.* // C. R. Acad. Sci., 1939, t.208, No.2, p.99.
9. *Pontecorvo B.* // Nature, 1938, vol.141, No.3574, p.785.
10. *Pontecorvo B. et Lazard A.* // C. R. Acad. Sci., 1939, t.208, No.2, p.99.
11. *Pontecorvo B.* // Nature, 1939, vol.144, No.3639, p.213.
12. *Pontecorvo B.* // J. de Phys., Colloque c.8, supplement au No.12, t.43, Dec. 1982, p.221.

*Писатель и крупный государственный деятель Франции.

BRUNO PONTECORVO: FROM ROME TO DUBNA

G.Fidecaro
CERN, Switzerland

Junior physicists in Rome after the war (I was one of the youngest among them) knew of Bruno. He had studied at the Istituto di Fisica dell'Università with Fermi in the early thirties, and had later joined his group, getting known as the youngest of the «I ragazzi di Via Panisperna». We all knew that the Fermi group had dispersed to different places in the world before the war, but I did not know where exactly Bruno was based. Meanwhile the research in physics at the Istituto had moved from nuclear physics to cosmic rays, and continuity with the Fermi school had been assured by Edoardo Amaldi, the only one left from the old Via Panisperna group.

I happened to meet Bruno in Rome only at the end of August 1950, just at the time of a very important turning point of his life. Only much later did I have the chance to evoke with him some of his scientific achievements and their impact on particle physics — he was still speaking the coloured Italian of Tuscany, and from his witty language I gained a perception of his understanding of nature, and also of his love for life and human beings.

A large part of what follows will be recalled by others in this book, but there are facts that I lived or heard from witnesses, and also my own way of reading that part of Bruno's scientific work with which I am more acquainted. Perhaps these notes will help to remind us how rich Bruno's life was.

Bruno had strong ties with Rome before the war. Born in Pisa in 1913, after two years spent at the University of Pisa he moved in 1931 to Rome to finish his studies there, following the advice of his older brother Guido, a biologist. Bruno spent only five years in Rome, but these years were of fundamental importance for his formation as a physicist. Bruno was proud to have *grown up* in Rome. He had great admiration for Fermi [1] and all through his life one of his ambitions was in fact to pursue Fermi's teaching. In Rome he worked at the old Institute in Via Panisperna, in Fermi's group, contributing with Edoardo Amaldi, Oscar D'Agostino, Franco Rasetti, Emilio Segrè, Gian Carlo Wick to the series of experiments which led to the discovery of the slowing down of neutrons and to the production of radioactive elements by neutrons.

In the spring of 1936 Bruno was granted a fellowship by the *Ministero dell'Educazione Nazionale* to spend some time abroad. Following Fermi's advice he went to Paris, to the Laboratoire de synthèse atomique at Ivry directed by Frédéric Joliot-Curie. In Paris, at the Istituto du Radium directed by Irène Curie, following his idea that electromagnetic transitions between two nuclear isomers should have large internal conversion coefficients, Bruno found a new type of *radioactive* nuclei emitting monochromatic electrons instead of the usual continuous β spectrum [2]. Similar results were obtained independently, though a little later, by Segrè and Seaborg. At Ivry, Bruno proved the production of β-stable isomers using 3 MeV X rays [3], and also produced β-stable isomers in (n,n) reactions using fast neutrons.

© G Fidecaro, 1997

Bruno expected to stay in Paris only one year: he remained there four years, until the war events in June 1940 obliged him to escape to the South of France (by bicycle), and then to Portugal and the United States. He reached the U.S. in August 1940. In the U.S. Bruno was introduced by Emilio Segré to Well Surveys, Inc., Tulsa, Oklahoma who engaged him as a research physicist. Thus, Bruno was the first to develop the neutron well logging technique [4], still used today in oil fields. United States Patents were issued to Bruno for his inventions in this field [5—7].

Bruno received several attractive offers for work in the oil industry. However, his interest in fundamental research in the end prevailed over economic considerations and early in 1943 he accepted an offer to join the recently established Anglo-Canadian nuclear research laboratory in Montreal, whose staff included several distinguished scientists, refugees from various countries in Europe. Bruno got an appointment as a member of the United Kingdom staff, like other American-recruited staff. Thus Bruno returned to nuclear physics, and it was at Chalk River that he started his new and extraordinary scientific adventure in the field of particle physics, which he pursued all along his life.

Studies for the design of a heavy water natural uranium reactor were started at the Montreal laboratory, located in the campus of the Université de Montréal, under the original Director Hans von Halban, Austrian. At that time the Americans were not considering building such a reactor. The decision to build a large heavy water natural uranium reactor, the NRX, was only taken in 1944 when, at the end of April, John Cockcroft was brought from England to replace von Halban, and cooperation with the United States was restored after initial difficulties. A site for the reactor was chosen a few km north of the Chalk River village, about 150 km northwest of Ottawa on the Ontario side of the Ottawa river. A new settlement, called Deep River from the name of the nearby Ottawa river, was created about 15 km away to lodge the staff. Bruno moved from the Montreal Lab to Chalk River in December 1945, and lived with his family at Deep River. In 1946 *a lively and enjoyable tennis season was opened, the first ... at Deep River. Pontecorvo ... was by common consent the star player* [8]. The local tennis club still awards a cup each year for the winner of the men's singles championship and Bruno was in fact the first winner of this cup with his name suitably inscribed [9]. Others will certainly recall in this book the Bruno's keen interest in tennis and other sports.

Bruno was responsible for several physics aspects of the reactor. *He devoted almost all his effort to NRX design problems during the period 1943—1945, writing some 25 reactor related reports, and, starting in mid-1944, working closely with the design engineers on the shielding. During 1945—1946 he worked on (i) a large BF_3 neutron counter (for detecting fuel failures by the delayed-neutron emission from fission products released into the cooling water) and (ii) with Brian Flowers, and with Dave Kirkwood, on the development of sensitive neutron monitors for the initial start-up of NRX (from «zero» flux). Because of this latter responsibility Bruno and Dave were two of only four physicists allowed in the NRX Control Room at the July 1947 start up, for which the «Operations» Division was responsible* [10]. B.W.Sargent, Head of the Nuclear Physics Branch, was the third of the four physicists chosen to join the operators on the night of 21—22 July 1947: the chain reaction started at

6:13 a.m., on 22 July 1947 [8]. The fourth physicist was Donald G. Hurst, who joined the Montreal laboratory in August 1944 and did some work with Bruno on the design of the shielding [10]. The NRX reactor, finished two years after the end of the war, with its 20 MW and its neutron flux five times that of any other reactor in existence was the world's best research reactor [8].

Only two papers related to Bruno's work on the design of the NRX reactor are recorded in the scientific literature. A paper with Pierre Auger and A.M. Munn concerning a measurement of the mean free path of slow neutrons in heavy water [11], and a shielding related paper with A.M.Munn [12], both published in 1947. A third paper was published the same year with J.V.Dunworth on the excitation of Indium 113 by 2 MeV X rays [13], a follow-up of Bruno's work in Paris [3]. A paper, with Pierre Auger, also concerning shielding, mentioned by Bruno in [1] was not found in the literature. Bruno's other reactor-related papers were archived as internal reports.

In 1947 Bruno travelled to Europe for the first time after the war. He came to Rome and on 17 December 1947 he gave a seminar [14] *Sulla disintegrazione dei mesoni ed i suoi prodotti* in the new Istituto di Fisica. The headquarters of the Istituto di Fisica were in fact no longer in Via Panisperna. They had been moved to a new large building in the *Città Universitaria*, (too large for the *few* people working there at that time).

As will be discussed later, after the publication of the Conversi, Pancini, Piccioni experiment in the 1st February 1947 issue of the Physical Review [15] Bruno had in fact developed an interest in cosmic rays, and had started experimental work on the disintegration of the μ mesons with E.P.Hincks (Ted). This turning-point in Bruno's activity took place around the time of the first operation of the NRX reactor, namely after the major effort on the design and the commissioning of the reactor had been made, and *the space around the reactor was* [getting] *jammed with experiments as physicists, chemists, and metallurgists competed for space and time* [8]. However, research activity at Chalk River started diversifying, with the laboratory getting open to *basic* research even earlier [10]. Bruno's and Ted's first cosmic-ray experiment was finished just before Bruno's departure for Europe (their paper [16] was received by the Physical Review on 9 December 1947).

Shortly after the 1947 Bruno's visit to Rome development work was started by Italo Federico Quercia at the Istituto di Fisica e Centro di Studio per la Fisica Nucleare, on the neutron well logging technique, in collaboration with AGIP, the State Oil Company of Italy [17]. The circuit diagrams of the electronics were supplied by Bruno, together with other relevant information. I had this information from Giovanni Muratori who was responsible for this project on the AGIP side and was well acquainted with Bruno's well logging work. Muratori later joined CERN where he led the mechanical engineering section for electronics experiments for many years.

Bruno remained in Canada until January 1949, when he moved to England and joined the new Atomic Energy Research Establishment (A.E.R.E) at Harwell, Berks, directed by John Cockcroft. At that time Bruno had already acquired British citizenship. Cockcroft had moved to England already in September 1946.

From Harwell Bruno paid a second visit to Italy in 1949, when he attended the Basle-Como International Conference on Nuclear Physics, Quantum Electrodynamics,

and Cosmic Rays, jointly organized by the Swiss and the Italian Physical Societies. Enrico Fermi also went to this conference, attended by most Italian physicists (including myself). I found no evidence of a possible visit to the Istituto di Fisica in Rome of Bruno at this time. On the other hand, with so many physicists in Como he could hardly have any reason to travel further South, except to meet relatives.

Bruno's stay at Harwell lasted only a bit more than a year. Early in 1950 he received an offer of a Chair at the University of Liverpool, where a large synchro-cyclotron was under construction. After a short visit to Liverpool Bruno decided to accept this offer and to move to Liverpool in autumn, after a long holiday in Italy.

Bruno and his family left on 25 July 1950 by car for Italy. They spent most of their holidays in the Rome region, but only on 25 August they moved to Rome. On 1 September they left by plane for Stockholm where they arrived before 9 p.m. Next morning they proceeded to Helsinki, and then disappeared into thin air... [1].

In Italy, August is the traditional summer holiday time. In particular, even today, work stops in the whole country around 15 August (*ferragosto*), except for the tourist industry. Life slowly starts again the week after, with the arrival of the cooler weather.

In 1950, 15th August happened to fall on a Tuesday. The Pontecorvos *disembarked* in Rome on the Friday following the *ferragosto* week. During his short stay in Rome (certainly during the week beginning on Monday 28 August, but not later that Thursday 31 August) Bruno paid a visit to the Istituto di Fisica.

Several people were still absent. I remember that Mario Ageno took care of him, at least for part of the time. Bruno had celebrated his 37th birthday a few days earlier, before getting to Rome. Mario was two years younger than Bruno. He had moved from Genoa to Rome in 1934 to finish his studies under Fermi just at the time the experiments on the slowing down of the neutrons had been concluded. I vaguely remember that Bruno came to the Istituto in the morning and returned to the Istituto later in the afternoon. Mario had been my tutor and it was quite natural for me to join him and Bruno and to accompany them to town at the end of the visit. It was a beautiful day and we walked together in the typical warm light of a late afternoon in Rome. The conversation developed almost entirely between Bruno and Mario. I was in fact only 24 years old, a young boy in comparison to them, and I felt myself too young to take part in their conversation. For this reason, I am convinced that Bruno paid little or no attention at all to me.

In the vicinity of the *Stazione Termini*, the main railway station of Rome, about ten minutes walk from the University, we separated. Not many days later we learned that Bruno and his family had disappeared, and this is the main reason why I still remember this episode of my life. Probably Mario and I were the last physicists to talk to Bruno in the Western World.

I found no track of Bruno's last visit to the Istituto di Fisica in the short annual report that Edoardo Amaldi published in 1951 in *La Ricerca Scientifica*, as he used to do every year [18]. I tried to reconstruct more exactly the date of Bruno's visit from the story of his last days in Rome [1]: he was busy on 29 and 30 August with his plane reservations and with his British-registered car. I guess that he came to the Istituto on Thursday 31, but I cannot exclude Monday 28. I never had the chance to talk to Bruno of his last days in Rome in more recent times.

Thus Bruno never went to Liverpool. I did go to Liverpool four years later, and spent almost two years working on the large synchro-cyclotron on which Bruno had envisaged working. The Director of the laboratory was still the same Professor Herbert Skinner who had sponsored the offer of a Chair to Bruno. People in Liverpool only once or twice mentioned to me the name of Pontecorvo, without comment.

As is well known, the world got confirmation that Bruno was in the USSR early in 1955, but it was only in 1978 that he was allowed to travel abroad, to Italy, to take part in the celebrations in honour of Edoardo Amaldi on the occasion of his 70th birthday. I saw him on this occasion, and two years later in Erice. In 1975, the Director-General of CERN appointed me Co-Chairman of the joint Scientific Committee set up under the terms of the collaboration agreement between CERN and the State Committee of the USSR for the Utilization of Atomic Energy, a responsibility that I kept until 1986. The purpose of this Committee was to supervise the collaboration of CERN teams and teams from the Western World working at CERN with Scientific Institutes in the USSR. In addition the Director-General gave me the task of coordinating the co-operation with the Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna. In that capacity I visited Dubna very many times, but I never met Bruno over there as I had no *official* reason to meet him. Although well known at CERN, Bruno in fact never participated directly in the CERN research programme. Similarly, the JINR management had no *official* reason to invite him to the several meetings that I had with them. When later Bruno started to visit CERN I met him quite often, but I never had reason to go beyond courtesy contacts.

Our friendship started on the occasion of one of my visits to Dubna, made after I left the joint Scientific Committee. I had in fact several friends among the colleagues of the Institutes in the USSR that I used to visit. I still had good relations with many of them, on a personal level. I do not remember exactly why I met Bruno in the hall of the Dubna Hotel where I was staying. On this occasion I gave him a reprint of my talk [19] at the International Conference on *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States, 1945—1960* held in Rome in September 1988.

Next morning Bruno returned to the Hotel. He looked very happy and somewhat excited. He had deeply appreciated my acknowledgement [19] of his 1947 Chalk River paper [20]: «In 1947, shortly after the discovery of the Conversi, Pancini, Piccioni effect, Pontecorvo was the first to notice that the probability (about 10^6 sec^{-1}) of capture of a bound negative meson is of the order of the probability of ordinary *K*-capture processes, when allowance is made for the difference in the disintegration energy and the difference in the volumes of the *K* shell and of the meson orbit... Thus he called attention to the possible equality of the coupling constants of electrons and *muons* to nucleons, and essentially laid down the first two sides of the *Puppi triangle.* It should be noted that if Fermi, Teller and Weisskopf were the first to point out the existence of a 10^{10}—10^{12} disagreement of the time of capture of mesons in carbon with previous estimates and to recognize the need for a very drastic change in the forms of meson interaction, Pontecorvo, in his paper published six months later, went into more detail in the analysis of the consequences of the Rome experiment and discussed features of weak interaction with deep insight. Pontecorvo's idea in the

following years developed through the work of other authors... into the more general idea of a *Universal Fermi Interaction...*»

I was glad to see his warm reaction, and it was my turn to get somewhat excited: I knew that his enthusiasm was in fact also an acknowledgement of the CERN experiment [12] which about ten years later proved the validity of his *intuition*, as he called it in more recent times [1], and of my work in particular. We recalled facts and anecdotes relating to his paper and the CERN experiment, and then Bruno took me to see the horses of his son Tito. We spent the whole morning together. After this friendly encounter we had frequent occasions to meet and talk, at Dubna, CERN, and in Rome.

Bruno and I had good reasons to be happy. The validity of the *Universal Fermi Interaction*, cornerstone of the weak interactions, is taken for granted today, and the fact that it was questioned for years in the past is generally ignored, buried as it is under the dust of time in chapters of the history of particle physics. Bruno is much better known today for neutrino physics. The fact that one of his major achievements had been recalled after more than forty years of almost complete silence was source of great satisfaction for him.

I too was happy. The disintegration of a π meson into an electron and a neutrino had been searched for years without success. Its absence was creating serious difficulties to the theory of weak interactions. It was seen for the first time in 1958, just in the first experiment done at CERN with an accelerator [21]. This experiment, though immediately recognized as the experiment which gave experimental grounds to the *Universal Fermi Interaction* by establishing the electron-muon symmetry, also lay semi-forgotten in text-books and in history books. I could not be happier to see it acknowledged by somebody like Bruno for what it was, namely as an experimental result in the interplay of theory and experiments and not as simple confirmation in the shadow of evolving theories.

In his seminar *Autobiographic Notes* at CERN on 14 September 1989 Bruno recalled the great influence of the Conversi-Pancini-Piccioni experiment in Rome [15] on his life as a scientist. Until 1947, cosmic-ray physics was a quite remote field for Bruno, though he had acquired some knowledge from his friends: G.Bernardini and G.Occhialini in Florence, P.Ehrenfest Jr. in Paris, F.Rasetti and P.Auger in Montreal [22]. There is no better way to describe how Bruno entered the cosmic-ray field pursuing it in the accelerator era than by copying what Bruno himself wrote with great sense of humour [22]: «As soon as I read the Conversi et al. paper and the considerations of Fermi et al. ... related to it, I became fascinated by the particle which we call now the muon. That was indeed an intriguing particle, "ordered" by Yukawa, discovered by Anderson, and found by Conversi et al. to be ill-behaved to the point that it had nothing to do with the Yukawa particle! I found myself caught in an antidogmatic wind and started to put lots of questions, such as: why the spin of the muon should be integer? who said that the muon must decay into an electron and a neutrino and not in an electron and two neutrinos, or into an electron and a photon? is the charged particle emitted in the muon decay an electron? are particles other than electrons and neutrinos emitted in the muon decay? in what form there is released the nuclear muon capture energy?»

The first answers to these questions were given by Bruno only a few months later, in his first letter to the Physical Review [20] after the Conversi — Pancini — Piccioni experiment [15]. Bruno pointed out that as a consequence of the Rome experiment [15] *the usual interpretation of the β process as a «two-step» process («probable production of virtual meson and subsequent β decay of the meson) completely loses its validity, since it would predict too long β lifetimes: the meson is no longer the particle responsible for nuclear β processes, which are to be described according to the original Fermi picture (without mesons). Consequently there is no need to assume that charged mesons have integral spin, as the Yukawa explanation of β processes required. Once we believe that the ordinary β process is not connected in any way with the meson, it is difficult to see strong reasons for the usual assumption that the meson decays with emission of a β particle and a neutrino. We shall consider then the hypothesis that the meson has spin $\hbar/2$ and that its instability is not a β process, in the sense that it does not involve the emission of one neutrino. The meson decay must then be described in a different way: it might consist of the emission of an electron and a photon or of an electron and 2 neutrinos [23] or some other process.* Bruno concluded his paper by announcing that an experiment was being attempted to find out whether the decay of a *meson* was accompanied by the emission of a 50 MeV photon. This was the first of a series of experiments on muon decay.

Bruno, together with Ted Hincks, built an elegant apparatus which, using a limited number of counters and sophisticated electronics, allowed them to prove that neither a photon was emitted in the decay of cosmic-rays *mesons* at sea level [16], nor a neutral meson decaying into two photons [24]. These results were later described in more detail in a paper published in Canada [25]. Similar results were obtained by other authors independently (R.D.Sard and Althaus [26], O.Piccioni [27]) slightly later.

Bruno and his Chalk River colleague and friend Ted then rearranged the counters and the electronics of their set-up and went on with their experiment to study the absorption of the decay products of the mesons. They obtained information on the spectrum of the charged particle emitted in the decay, ruling out the possibility of a two-body disintegration into an electron and a neutral meson, and showing that a maximum energy of about 50 MeV for the decay electrons would be consistent with their results [28]. From the observed bremsstrahlung component they concluded that the charged particle was indeed an electron [29,30]. The complete results of this investigation were published later, together with a general discussion which included the results of selected experiments and theoretical considerations and added *to the body of evidence in support of the «electron + 2 neutrinos» process, requiring a spin $\hbar/2$ for the μ meson* [31].

It must be remembered that nearly at the same time Jack Steinberger had started a similar investigation, to measure the range of the decay electrons, using a Geiger counter technique [32]. Steinberger's final results showed that the decay electron spectrum did not extend beyond 55 MeV [33], in agreement with the results of Hincks and Pontecorvo. However, Hincks and Pontecorvo were the only group to give evidence that the charged particle indeed was an electron.

Bruno's and Ted's cosmic-ray work, though initiated by considerations of *basic* research, had some fall-out on the Chalk River reactor work, thus confirming the

enlightened decision of C.J.Mackenzie, President of the National Research Council, to keep the laboratory open to fundamental research: *The cosmic-ray expertise, maintained by Ted Hincks after Bruno left, turned out to be a valued asset a few years later when it was used to measure spallation-neutron production — a requirement of the future planning program for power reactor systems* [10]. Hanna and Hincks in fact did cosmic-ray work at Echo Lake, Colorado, 3260 m for this purpose [34], and this is what Bothwell wrote several years later in his book: *Meanwhile* [1948] *Bruno Pontecorvo and Ted Hincks of the nuclear physics division made a name for themselves through the study of cosmic rays (cosmic rays also produce neutrons and cause fission)* [8].

Nevertheless, Bruno felt himself guilty [22] for the effort that he was putting in his cosmic-rays work at Chalk River. He wrote: «We were working in a reactor laboratory and because of that we developed a sort of feeling of guilt in doing cosmic ray research. True, our head B.W. Sargent (the physicist who discovered the rules relating beta decay probabilities to the energies of the electrons emitted) was looking with sympathy to our work. Nevertheless, I cannot forget that Ted and I were reluctant to spend laboratory money and how happy we were when Ted invented a «threshold amplifier», which saved a lot of counters, permitting to increase essentially the efficiency of detecting photons in coincidence with electrons from the hypothetical $\mu \to e\gamma$ decay! ...» [22]. May I say that Bruno's feeling only was a proof of his sense of responsibility and loyalty towards the laboratory.

Coming back to neutrino physics, Bruno is better known today for his work in this field. However, here again most people acquainted with his more recent work are unaware that it was Bruno who opened the way in 1945 to the long series of neutrino experiments in the world. He was in fact the first to propose a method to detect free neutrinos in his P.D.-141 Chalk River report [35], followed 18 months later by a second report, the P.D.-205 [36], at a time the neutrino was generally considered an undetectable particle and it was common belief that it did not make sense to start looking for it.

Experiments on the recoil of nuclei in beta disintegrations had already been performed with a view to confirming the neutrino hypothesis. Bruno pointed out [36,37] that these experiments, based on energy-momentum conservation, could only either disprove the neutrino hypothesis or increase «indirect» evidence for its existence. «Direct» proof of the existence of the neutrino could only come from the detection of processes produced by free neutrinos, like inverse β processes. For this purpose Bruno invented the Chlorine-Argon radiochemical method, based on the separation of the unstable Argon-37 produced in the reaction $\nu + {}^{37}\mathrm{Cl} \to e^- + {}^{37}\mathrm{Ar}$, and the successive detection of the 2.8 keV Auger electron emitted with a 34 days half-life after the *K*-capture reaction [36].

Bruno's first idea in 1945 [35] had been to use the reaction $\bar{\nu} + {}^{35}\mathrm{Cl} \to e^+ + {}^{35}\mathrm{S}$. Sulphur-35 nuclei could be identified by their 87.1 day half-life decay into Chlorine-35 with emission of 120 keV maximum energy negative electrons. When Bruno wrote his paper the Seaborg *Table of isotopes* [38] gave no information on the decay of Argon-37 except for its half-life (34 days), and presumably Bruno was not even aware of the new results on this decay [39], published only a few months before P.D.-141 was issued [10].

It should be noted that in those days the problem whether $\nu \neq \bar{\nu}$ was still open. In the case that ν and $\bar{\nu}$ were different the Chlorine-Sulphur method could only be used to detect reactor neutrinos, while Chlorine-Argon would be appropriate for solar neutrinos. There is no doubt that Bruno was aware of this. He considered the solar neutrino flux too low for an experiment in P.D.-141 [35], but gave more serious consideration to solar neutrino experiments in P.D.-205 [36] (railway car tanks filled with CCl_4 in a tunnel in the Canadian Rockies were also considered [10]).

Tests for a neutrino detector were started with Argon-37 prepared at the Chalk River heavy-water reactor using an (n, γ) reaction. Bruno's group included G.C.Hanna and D.H.W.Kirkwood. In those days scintillation counters did not yet exist and proportional counters were only used to detect strongly ionizing particles such as low energy protons and alphas. It was currently believed in fact that for a proper behaviour the gas amplification factor had to be kept small, let us say $\lesssim 100$.

It was by chance that Bruno and his collaborators discovered, independently of Curran et al. [40], the high gain regime (up to 10^6), while looking at Argon-37 pulses in a Geiger counter whose high voltage was set below the avalanche regime [22]. They realized that large-gas-amplification proportional counters could be advantageous for the detection of the 2.8 keV Auger electrons with low background, and developed a complete technique for precise measurements of energy, which in fact proved essential for the detection of neutrinos using radiochemical methods.

With a proportional counter and a 10^4 multiplication factor Bruno and co-workers could measure the energy of the 2.8 keV Auger electrons [41]. Further work with a $2 \cdot 10^5$ gain was done to investigate in detail the nuclear capture of L electrons in ^{37}Cl (about 10 ion pairs, about 280 eV) [42], previously observed by Bruno and co-workers for the first time [41]. The same technique was used to study the β spectrum of tritium, which was found compatible with a neutrino mass $\lesssim 500$ eV [43], a significant result in those days. The results were compared with those obtained by Curran et al. [40] using the large-gas-amplification proportional counters technique developed independently by them. The essentials of the investigation of the L capture and of the spectrum of ^3H were described in a paper [44]. The apparatus simply consisted of ... a proportional counter, a linear amplifier, and a 30-channel pulse height analyser.

A more detailed discussion of the Chlorine-Argon method was done in 1949 by L.Alvarez, substantially confirming the choice made by Bruno [45]. Alvarez's paper is often quoted together with Bruno's paper, and the two papers are quoted in chronological order. However, sometime Alvarez is credited with having invented the Chlorine-Argon method «independently» from Bruno. As remarked also by S.T.Petkov in his article on Bruno's contributions to weak interaction and neutrino physics [46], the reference to P.D.-205 and to conversations with Bruno in [45] do not seem to justify this credit.

The idea of a neutrino detector at Chalk River was abandoned in 1949, when Bruno moved to England. There was nobody left to do the experiment: Dave Kirkwood had departed in August 1948 and Hanna got involved in other experiments [10]. However, Bruno did not abandon the idea. In Bristol he calculated cosmic ray

background with the help of Camerini for various Cl–Ar experiments that he was planning to do [22].

The Chlorine-Argon method was resumed by R.Davis, Jr. a few years later at Brookhaven in an attempt to detect reactor neutrinos [47]. The negative result obtained in 1956 was considered as a first evidence that neutrinos and antineutrinos were not identical [48]. A new experiment was then started by Davis and collaborators to detect solar neutrinos, but it took several years before they could overcome the background. The Geiger counters were in the first place replaced with proportional counters and the pulse height measured, but further reduction of the background was necessary [49]. In 1968 Bruno met Davis at the first neutrino conference in Moscow and expressed the opinion that *measuring the form of the counter pulse, in addition to the amplitude, should result in a considerable decrease of the effective background in his solar experiment* [22]. This suggestion proved correct as Bruno found out from Davis at the ν'72 conference in Hungary [50]. Thus the experiment, *grace to the heroic effort of R.Davis, terminated brilliantly, but many many years after its conception* [22]. Additional references can be found in [46].

Bruno continued to work on large-gas-amplification proportional counters after he moved to Harwell [51], as can also be seen from the work of his collaborators [52—54]. Bruno discussed the Chlorine-Argon method, including solar neutrinos, with Fermi in Chicago, probably in 1948 and later at the Basle-Como conference in 1949. Fermi was not enthusiastic at all about the neutrino application of the Chlorine-Argon method, but liked very much the proportional counters. *Don Quixote was not the hero of Fermi* — Bruno recalled [22] — leaving to somebody else, perhaps Segré, the task of expressing a judgement on Fermi! However, the detection of the inverse β process was recalled by Fermi in his 1950 lectures at Chicago as the most conclusive proof of the existence of the neutrino [55], and when Reines and Cowan informed him in 1952 that they had a suitable detector to see neutrinos from a fission reactor (not from a nuclear explosion as they had originally in mind), Fermi answered with a very encouraging letter ... [56].

On the contrary, Pauli very much liked the idea of the Chlorine-Argon experiment. Bruno met him in Zürich and had lunch with him and Peter Preiswerk in 1947 on the occasion of his first trip to Europe after the war. Pauli — Bruno recalled — *remarked that it was not clear whether the «reactor neutrinos» should definitely be effective in producing the reaction, but he thought that they probably would* (*as you see, this is the Majorana point of view*) [22].

Bruno returned to neutrino physics early in 1959. An 800 MeV meson factory with a huge current was being designed at the Laboratory of Nuclear Problems of the JINR in 1958 and Bruno started considering the experimental programme for it (an accelerator which was never built) [22]. Under these circumstances it occurred to him that neutrino experiments were perfectly feasible at particle accelerators, in particular to find whether ν_e and ν_μ (or $\bar{\nu}_e$ and $\bar{\nu}_\mu$) were identical. The idea was to dump an intense proton beam into a thick absorber and produce an (isotropic) source of $\bar{\nu}_\mu$, ν_e and ν_μ from π–μ–e decay, with a negligible background of $\bar{\nu}_e$. A Reines and Cowan detector (insensitive to ν_e and ν_μ), whose operation was known, placed at an

angle $\gtrsim 90°$ (to reduce possible background from neutrons) should give no counts if $\bar{\nu}_e \neq \bar{\nu}_\mu$ as the reaction $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow e^+ + n$ would be forbidden and the corresponding reaction $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$ could not take place from $\pi^+ - \mu^+$ decay for energetic reasons.

Bruno described this experiment in more detail in his famous paper *Electron and Muon Neutrinos* [57]. This paper was the first one to discuss in detail the problem of the identity of ν_μ and ν_e, (or $\bar{\nu}_\mu$ and $\bar{\nu}_e$). In particular Bruno made a long list of 21 reactions produced by neutrinos or antineutrinos, clearly marking the reactions forbidden if $\nu_e \neq \nu_\mu$. The notations introduced by Bruno in this paper are the same notations used today. It is interesting to note that two neutrinos appear in the weak interactions Lagrangian written by Bruno in this paper: an electron neutrino and a muon neutrino. Similarly, a few months earlier Oneda and Pati [58] inserted in the Lagrangian two different particles, a neutrino and an hypothetical particle ω.

In both cases there was no fundamental reason to make the two particles identical, and in fact Bruno wrote [22]: «I have to come back a long way (1947—1950). Several groups, among which J.Steinberger, E. Hincks and I, and others were investigating the (cosmic) muon decay. The result of the investigations was that the decaying muon emits 3 particles: one electron (this we found by measuring the electron bremsstrahlung) and two neutral particles, which were called by various people in different ways: two neutrinos, neutrino and neutretto, ν and ν', etc. I am saying this to make clear that for people working on muons in the old times, the question about different types of neutrinos has always been present. True, later on many theoreticians forgot all about it, and some of them «invented» again the two neutrinos (for example M.Markov), but for people like Bernardini, Steinberger, Hincks and me ... the two neutrino question was never forgotten. Of course, the question became much more precise in my mind, in the sense that possible «partners» arose: maybe ν_e is always the partner of the electron, ν_μ of the muon ... How to perform the decisive experiment I was able to formulate [57] clearly enough (the use of muon neutrino beams). At that time the idea of the experiment was not obvious, although the statement may be strange today: one must search for electrons and muons produced in matter by muon neutrinos; if $\nu_\mu \neq \nu_e$ one should find that $N_e << N_\mu$, N_e and N_μ being the number of electrons and muons produced correspondingly.»

In his paper Bruno gave reasons why the hypothesis of distinct electron and muon neutrinos was attractive, in particular he recalled that reactions like the $\mu \rightarrow e + \gamma$ did not occur (a subject already investigated by Bruno and Ted Hincks [16]), though a branching ratio of 10^{-4} had been predicted [59], and concluded that *the hypothesis of two different types of neutrinos, unable to annihilate each other, is attractive from the point of view of symmetry and systematics of particles and also could help us understand the difference in the nature of the muon and electron.*

Bruno's paper *Electron and muon neutrinos* [57] was submitted to the JETP editor on 9 July 1959, namely just a few days before the opening of the Ninth International Annual Conference on High Energy Physics, held at Kiev on 15—25 July. Therefore,

at the time of writing his paper he did not know the latest results on the $\mu \rightarrow e + \gamma$ decay. These results were summarized by the *rapporteur* A.I.Alikhanov in the Weak Interaction Plenary Session. Alikhanov [60] recalled that in the case of existence of an intermediate vector boson the branching ratio $R(\mu \rightarrow e + \gamma)/R(\mu \rightarrow e + \nu + \overline{\nu})$ was 10^{-4} [59]. In the case of non-existence of an intermediate vector boson the $\mu \rightarrow e + \gamma$ process could still exist but the prediction of its branching ratio would not be definite. Alikhanov did not make any reference to the problem of the two neutrinos.

Altogether, Alikhanov listed seven experiments, five electronic (four performed in 1959, one in 1955), and two freon bubble chamber experiments (performed in 1959). Out of the five electronic experiments three, done in 1959, gave for the branching ratio $R(\mu \rightarrow e + \gamma)/R(\mu \rightarrow e + \nu + \overline{\nu})$ upper limits of $\lesssim 10^{-6}$. The other four experiments gave upper limits about one order of magnitude smaller. Forgetting the oldest experiment, it appears that at the time of writing his paper Bruno only knew that one experiment had given for the branching ratio a limit of 10^{-6}. Thus, only at the conference did he learn that the two-neutrino problem was getting hot.

May I mention that one of the three $\mu \rightarrow e + \gamma$ experiments performed in 1959 giving a branching ratio smaller than $\sim 10^{-6}$ was a CERN experiment in which I was involved [61]. In his Kiev report Alikhanov pointed out that the two bubble chamber experiments, though not rich in statistics had the advantage of *clearness*, with reference — I assume — to the fact that these experiments could detect the internal bremsstrahlung process $\mu \rightarrow + \nu + \overline{\nu} + \gamma$ and thus more safely separate $\mu \rightarrow e + \gamma$ decays from this type of background. The CERN experiment had been precisely designed with the idea of not rejecting γ background events electronically. Thus it was possible to record 25 bremsstrahlung events and show that the mean life of these events was equal to the mean life of the muon. The latter determination could only be done with an electronics device. However, this part of the experiment was not communicated to the rapporteur and therefore was not be presented at the conference. This is the experiment which introduced me to the neutrino chapter of Bruno's scientific work.

In the course of the discussion that followed the Alikhanov presentation Bruno raised the problem of the two neutrinos and described his proposed meson factory experiment along the lines already sketched in his paper. Then he reported considerations due to R. Ryndin and himself. Without entering into details, Bruno pointed out the possibility of producing intermediate vector bosons in interactions of very high energy neutrinos in the nuclear field. He clearly meant to take advantage of the large increase in the cross section with energy obtainable with high energy accelerators, not with meson factories. Shortly afterwards M. Schwartz proposed, independently from Bruno, using high-energy neutrinos from π decay to investigate weak interactions [62].

The problem of the two neutrinos was solved at Brookhaven by G.Danby et al. [63]. Meanwhile it had become clear [64], as mentioned by these authors, that any general mechanism preserving the unitarity of the Fermi theory would lead to a $\mu \rightarrow e + \gamma$ branching ratio not too different from that evaluated by Feinberg [59]. Under these circumstances the hypothesis that the two neutrinos could be distinct was gaining interest. Dubna could not compete with the Brookhaven AGS in this case!

I should like to stop here, but not without mentioning that an attempt was nevertheless made at Dubna to search for anomalous scattering of muon neutrinos by nucleons (in case it existed) using neutrinos and antineutrinos produced from the decay in flight of $\pi^{\pm}$ generated by the 10 GeV proton beam of the Dubna synchrotron, and a Geiger counter detector [65]. An upper limit for the cross section was given.

Bruno's interest focussed later on the problem of neutrino oscillations, a hot problem in neutrino physics today, also raised by Bruno [66,67] and later by him generalized from $(\nu \leftrightarrow \bar{\nu})$ to $(\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu)$ oscillations [68]. This chapter will not be touched on here. I should only like to recall, as this too is not widely known, that Bruno also suggested, independently of A.Pais, the associated production of kaons and hyperons [69] (another example of Bruno's fertile mind), which in turn led to strangeness conservation in strong interactions.

Bruno died on 24 September 1993 in Dubna. I happened to be in Protvino at that time and had in mind to pay a visit to Dubna, to Bruno in particular. I was shocked when I learned that he was no more with us. Protvino friends kindly invited me to join a little delegation going to Dubna to Bruno's funeral. I am grateful to them. I had the sad privilege, together with Guido Piragino, to give Bruno the last greetings from the country which had given him birth and had raised him as a physicist.

Mr. Geoff C. Hanna, a former colleague of Bruno at the Chalk River laboratory, contributed additional information on the Canadian period, some of which came from Dr. Donald G. Hurst. Dr. Malcolm Harvey, Chalk River, and Mrs. Joan Melvin from Deep River sent me valuable documentation and information. Professor Douglas Stairs, McGill University, an old friend of mine, enthusiastically put me in touch with the people above. Dr. Giovanni Muratori, CERN, gave me detailed information on Bruno's neutron well logging work. To all, I should like to express my gratitude.

REFERENCES

1. *Mafai M.* Il Lungo Freddo. A. Mondadori, Milano, 1992.
2. *Pontecorvo B.* // Nature, 1939, vol.144, p.212.
3. *Pontecorvo B., Lazard A.* // C.R., 1939, vol.208, p.99.
4. *Pontecorvo B.* // The Oil and Gas Journ., 1941, vol.40, p.32-3; see also Pontecorvo B. // Geophysics, 1942, vol.VII, p.90—94.
5. *Pontecorvo B.* // Method and Apparatus for Geophysical Exploration, 2,349,753 — Issued May 23, 1944.
6. *Pontecorvo B., Swift G.* // Geophysical Prospecting, 2,353,619 — Issued July 11, 1944.
7. *Pontecorvo B.* // Well Surveying, 2,398,324 — Issued April 9, 1946.
8. *Bothwell R.* Nucleus, the History of Atomic Energy of Canada Limited University of Toronto Press, 1988. Robert Bothwell tells in this book the story of the birth of the Anglo-Canadian Projet, its transfer to the National Research Council of Canada after the end of the war in 1945, and its transformation into Atomic Energy of Canada Limited (AECL) in the early fifties.
9. *Harvey M.* // Private communication, 24 June 1996.
10. *Hanna G.C.* // Private communication, 24 October 1996.
11. *Auger P., Mumm A.M., Pontecorvo B.* // Canad. J. Res. A, 1947, vol.25, p.143.
12. *Munn A.M., Pontecorvo B.* // Canad. J. Res. A, 1947, vol.25, p.157.

13. *Dunworth J.V., Pontecorvo B.* // Proc. Cambridge Phil. Soc, 1947, vol.43, p.123.
14. *Amaldi E.* // Centro di Studio per la Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari. Attività svolta durante l'anno 1947. La Ricerca Sc., Anno 17, 1947, 394.
15. *Conversi M., Pancini E., Piccioni O.* // Phys. Rev., 1947, vol.71, p.209.
16. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1948, vol.73, p.257.
17. *Amaldi E.* // Centro di Studio per la Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari. Attività svolta durante l'anno 1949. La Ricerca Sc., Anno 20°, 1950, 927.
18. *Amaldi E.* // Centro di Studio per la Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari. Attività svolta durante l'anno 1950. La Ricerca Sc., Anno 21°, 1951, 1149.
19. *Fidecaro G.* // Proc. Int. Conf. on the Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States 1945—1960 /Eds. M. De Maria, M. Grilli, F. Sebastiani, World Scientific, p.654.
20. *Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1947, vol.72, p.246.
21. *Fazzini T, Fidecaro G., Merrison A.W., Paul H., Tollestrup A.V.* // Phys. Rev. Lett. , 1958, vol.1, p.247.
22. *Pontecorvo B.* // Proc. Int. Coll. on the History of Particle Physics: some discoveries, concepts, institutions from the thirties to fifties, 21-23 July 1982, Paris, in Journal de Physique, Colloque C-8, supplément au n° 12, Tome 43, Décembre 1982, Les Ulis, France, p. 221. — Following a request from the editors of Usp. Fiz. Nauk Bruno was asked to prepare an article* on the basis of previous reports, including the paper quoted here. I have chosen to use extracts from the original text, i.e., «The Infancy...», which avoids translation into Russian and re-translation back into English.
23. *Nordheim L.W.* // Phys. Rev., 1941, vol.59, p.554.
24. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1948, vol.73, p.1122.
25. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Canad. J. Res. A, 1950, vol.28, p.29.
26. *Sard R.D., Althus E.J.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.1364.
27. *Piccioni O.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.1754.
28. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.697.
29. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.341(A).
30. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.698.
31. *Hincks E.P., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1950, vol.77, p.102.
32. *Steinberger J.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.500.
33. *Steinberger J.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p1136.
34. *Bercovitch M., Carmichael H., Hanna G.C., Hincks E.P.* // Phys. Rev., 1960, vol.119, p.412.
35. *Pontecorvo B.* // Report P.D.-141, Chalk River Laboratory, 21 May 1945.
36. *Pontecorvo B.* // Inverse β process, a lecture given on 4 September 1946 to a Nuclear Physics Conference in Montreal. Issued as Report P.D.-205, National Research Council of Canada, Division of Atomic Energy, Chalk River, Ontario, 20 November 1946. — The Conference, 2—6 September 1946, was organized by Dr. C.J. Mackenzie, President of the National Research Council, primarily to inform the University community of the research facilities that were becoming available at Chalk River, and to encourage their use, particularly by graduate students for their thesis work. No Proceedings were published, but some of the lectures were written up as Chalk River Reports, e.g., P.D.-205. The Conference was held at the McGill University, in the Macdonald Physics Building well known for the work of Ernest Rutherford before he moved to England in 1907.
37. *Pontecorvo B.* // Rep. on Progr. in Phys., 1946—1947, vol. XI, p. 32-42.
38. *Seaborg G.T.* // Rev. Mod. Phys., 1944, vol.16, p.1.
39. *Weimer P.K., Kurbatov J.D., Pool M.L.* // Phys. Rev., 1944, vol.66, p.209.

*B M. Pontecorvo, Uspekhi Fiz. Nauk, 1983, vol.141, p.675 [Pages in the development of neutrino physics, Sov. Phys. Usp., 1983, vol.26 (12), p.1087].

40. *Curran S.C., Angus J., Cockcroft A.L.* // Nature, 1948, vol.162, p.302; Phil. Mag., 1949, v.40, p.53; see also Phys. Rev., 1949, vol.76, p.853.
41. *Kirkwood D.H.W., Pontecorvo B., Hanna G.C.* // Phys. Rev., 1948, vol.74, p.497.
42. *Pontecorvo B., Kirkwood D.H.W., Hanna G.C.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.982.
43. *Hanna G.C. Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.983.
44. *Hanna G.C., Kirkwood D.H.W., Pontecorvo B.* // Phys. Rev., 1949, vol.75, p.985.
45. *Alvarez L.* // University of California (at Berkeley), Report No. UCRL-328, April 18, 1949, Berkeley.
46. *Petcov S.T.* // Proc. of the 6th Int. Workshop on Neutrino Telescopes, Venice, February 22—24, 1994.
47. *Davis R.* // Phys. Rev., 1955, vol.97, p.766.
48. *Davis R., Jr.* // Bull. Am. Phys. Soc. II, 1956, vol.1, p.219.
49. *Davis R., Jr.* // Phys. Rev., 1964, vol.12, p.303.
50. *Davis R., Jr., Evans J.C., Radeka V., Rogers L.C.* // Proc. Conf. «Neutrino-72», Balaton, Hungary, June 1972 /Eds A. Frenkel and G. Marx, Budapest, 1972, p.5.
51. *Pontecorvo B.* // Int. Kongress über Kernphysik und Quantenelektrodynamik, Basel, 5—9 Sept. 1949, Helv. Phys. Acta Vol. XXIII, Suppl. III, Basel 1950, p. 97-118.
52. *Rothwell P., West D.* // Proc. Phys. Soc. A, 1950, vol.63, p.541.
53. *Rothwell P., West D.* // Proc. Phys. Soc. A, 1950, vol.63, p.539.
54. *Rothwell P.* // Proc. Phys. Soc. A, 1951, vol.64, p.911.
55. *Fermi E.* Nuclear Physics /Eds. J. Orear, A.H. Rosenfeld, R.A. Schulters, Univ. of Chicago Press, 1950.
56. *Reines F.* // Proc. Conf. «Neutrino-80», /Ed. E. Fiorini., Erice, June 23—28, 1980, New York: Plenum, 1982, p. 11. — In his Ref. 3 Reines, after recalling the Chlorine-Argon radiochemical method suggested by B. Pontecorvo and L.W. Alvarez using a fission reactor, points out that the reactor result would have been negative anyhow, though the neutrino exists. I should like to recall that Bruno considered in his proposal both, solar and reactor neutrinos, that he had a specific interest in solar neutrinos, and that, in any case, each suggestion had its own merit as shown later by Davis, first with his reactor experiment, and then by detecting solar neutrinos.
57. *Pontecorvo B.M.* // ZhETF, 1959, vol.37, p.1236 (Sov. Phys. — JETP, 1960, vol.10, p.1751).
58. *Oneda S., Pati J.C.* // Phys. Rev. Lett., 1959, vol.2, p.125.
59. *Feinberg G.* // Phys. Rev., 1958, vol.110, p.1482.
60. *Alikhanov A.I.* // Proc. of the Ninth Int. Conf. on High Energy Physics, Plenary Sessions VI-IX, p.163, Kiev, 15—25 July 1959.
61. *Ashkin J, Fazzini T., Fidecaro G., Lipman N.H., Merrison A.W., Paul H.* // Nuovo Cim., Series X, 1959, vol.14, p.1266.
62. *Schwartz M.* // Phys. Rev. Lett., 1960, vol.4, p.306.
63. *Danby G., Gaillard J.-M., Goulianos K., Lederman L.M., Mistry N., Schwartz M., Steinberger J.* // Phys. Rev. Lett., 1962, vol.9, p.36.
64. *Lee T.D.* // Proc. of the 1960 Annual Int. Conf. on High Energy Physics at Rochester, The University of Rochester, Rochester, N.Y., Aug.25—Sept.1, 1960 /Eds. E.C.G. Sudarshan, J.H. Tinlot, A.C. Melissinos, Univ. of Rochester, 1960, p. 567.
65. *Vasilevsky I.M., Veksler V.I., Vishniakov V.V., Pontecorvo B., Tyapkin A.A.* // Phys. Lett., 1962, vol.1, p.345.
66. *Pontecorvo B.M.* // ZhETF, 1957, vol.33, p.549 (Sov. Phys. — JETP, 1958, vol.6, p.429).
67. *Pontecorvo B.M.* // ZhETF, 1958, vol.34, p.247 (Sov. Phys. — JETP, 1958, vol.7, p.172).
68. *Pontecorvo B.* In: Old and New Problems in Elementary Particles: A volume dedicated to Gilberto Bernardini in his sixtieth birthday /Ed. G.Puppi, New York and London, Academic Press, 1968, p.251.
69. *Pontecorvo B.M.* // ZhETF, 1955, vol.29, p.140 (Sov. Phys. — JETP, 1956, vol.2, p.135).

ГЕНИЙ БРУНО ПОНТЕКОРВО

В.П.Джелепов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Вскоре после открытия В.И.Векслером и Э.Макмилланом принципа фазовой устойчивости движения частиц в циклических ускорителях в целях развития фундаментальных исследований по ядерной физике при высоких энергиях по инициативе академика И.В.Курчатова правительством нашей страны в августе 1946 г. было принято решение создать специальную лабораторию, оснащенную мощным ускорителем. Решено было построить ее неподалеку от Москвы на берегу Волги около маленькой деревни Ново-Иваньково (впоследствии г.Дубна) близ первой гидроэлектростанции, сооруженной здесь в 1937—1938 гг. Из соображений секретности новая лаборатория, являвшаяся филиалом Московского института, руководимого Курчатовым, получила название Гидротехническая лаборатория АН СССР. В то время все объекты, занимавшиеся ядерной физикой, были строго засекречены, не было сделано исключение и для новой лаборатории. В сентябре 1948 г. ее директором был назначен М.Г.Мещеряков, а я — его заместителем. Мы оба были кандидатами физико-математических наук, имевшими опыт работы в области создания и эксплуатации циклотронов. Основой лаборатории должен был стать самый крупный в то время в мире ускоритель синхроциклотрон на энергию дейтронов 280 МэВ, α-частиц — на 560 МэВ и протонов — сначала на 460, а затем на 680 МэВ.

Строительство объекта шло высокими темпами, и в декабре 1949 г. синхроциклотрон был введен в действие. В январе 1950 г. несколько групп физиков нашей лаборатории и некоторых московских институтов развернули на нем исследования.

Осенью 1950 г. стало известно, что в нашей лаборатории будет работать прибывший в Москву из-за границы известный итальянский физик, ученик знаменитого Ферми Бруно Понтекорво. Много разных легенд ходит по свету о том, каким путем Бруно Понтекорво приехал в Советский Союз, что было причиной его отъезда из Европы в Страну Советов и т.д.

Сначала о причине. Кратко и точно сказал об этом президент итальянской Академии деи Линчеи Джорджио Сальвини, выступая в Венеции в 1994 г. с докладом «Наследие Бруно Понтекорво»: «Случай Бруно, настоящего научного гения, весьма драматичен, и это один из случаев, соединяющих настоящее научное видение, силу идеологии и даже милосердие в отношении человеческого рода... Собственно говоря, он убежденно верил в коммунизм как вдохновляющую и правящую в мире силу, как человек, верящий в свое религиозное "кредо"». Бруно был итальянским коммунистом и, приехав в Россию, вскоре вступил в нашу коммунистическую партию. Его супруга Марианна (по происхождению шведка) на вопрос, зачем они приехали в Россию, отвечала с иностранным акцентом: «Как зачем? Дальнейше строить коммунизм». Бруно был тогда коммунистом-иде-

© В.П.Джелепов, 1997

алистом, искренне верившим в силу и правильность выбранного Россией пути развития.

Теперь о том, как он приехал в Россию. Написано много жестокой неправды: на подводной лодке, на каком-то военном катере и т.д. Ничего этого не было. Старший сын Бруно Джиль, которому в момент приезда было 12 лет, рассказал мне следующее. Сначала вся семья самолетом прилетела из Рима через Стокгольм в Хельсинки. Далее на двух автомобилях до границы с Россией, затем поездом в Ленинград. В Ленинграде они на несколько дней остановились в гостинице, а затем также поездом прибыли в Москву. Это было в августе 1950 г. В Москве Бруно Понтекорво была предоставлена пятикомнатная квартира со всеми удобствами в доме на ул. Горького (ныне Тверская). Спустя три месяца, в начале ноября, вся семья прибыла в Дубну. В Дубне Бруно поселился в двухэтажном коттедже на главной улице нашего научного городка, где в таких же коттеджах жили директор лаборатории, я, главный инженер и другие руководящие сотрудники.

Бруно практически сразу начал работу в лаборатории. Дети один за другим учились в школе. Старший, Джиль, окончил физфак МГУ и с тех пор работает в нашей лаборатории. Второй сын, Тито, окончил географический факультет МГУ по специальности океанология, некоторое время работал в экспедициях, а затем резко изменил свои жизненные планы и поблизости от Дубны построил прекрасную конную ферму по выращиванию ахалтекинских скакунов. Младший сын, Антонио, окончив факультет радиоэлектронной аппаратуры Нефтяного института, работает в коммерческой фирме в Москве...

Бруно и члены его семьи не говорили по-русски, а все мы могли читать по-английски, но говорили очень плохо. Это создавало определенные трудности. Однако Бруно сразу же покорил нас своим внешним обаянием и манерой держаться в обществе.

В России принято обращаться друг к другу по имени и отчеству, и нам, фактически сверстникам Бруно (мне было столько же лет, сколько и ему, а Мещеряков был старше всего на три года), было неудобно называть его только по имени. Что касается молодых сотрудников, то они считали это просто невозможным. Поэтому в первую же встречу я спросил Бруно, как звали его отца. Он ответил: «Массимо». Тогда мы договорились, что будем называть его Бруно Максимовичем. С тех далеких лет он стал известен в научных и общественных кругах России как Бруно Максимович Понтекорво.

В то время Бруно Понтекорво был достаточно широко известен в мировом научном сообществе физиков-ядерщиков как талантливый ученый. Он был участником знаменитых работ Э.Ферми 30-х годов по замедлению нейтронов. Мы знали его работы по ядерной изомерии, выполненные в группе Жолио-Кюри в Париже. Он был известен как ученый, который впервые установил, что мюон распадается на электрон, но без испускания фотона; как физик, который предложил замечательный радиохимический хлор-аргонный метод регистрации нейтрино от Солнца и атомных реакторов, а также как автор впервые высказанной им в 1947 г. гипотезы об универсальности слабого взаимодействия для электрона и мюона с нуклонами. Все это свидетельствовало о том, что у Бруно Понтекорво исключительно плодотворно сочетался дар глубокого проникновения

в сущность физических явлений с замечательными способностями тонкого экспериментатора.

Было очень ценно, что в нашем небольшом тогда научном коллективе будет работать такой талантливый и широко известный ученый. При обсуждении его научных планов на ближайшие годы Бруно высказал пожелание вести работы по исследованию взаимодействия отрицательных пионов с ядрами, рождению нейтральных пионов в нуклон-нуклонных соударениях и изучению процессов упругого рассеяния пионов на нуклонах. Очень быстро была создана группа из нескольких молодых научных сотрудников, инженеров и лаборантов, и они под его руководством занялись разработкой аппаратуры и проведением экспериментов на пучках ускорителя.

Однако круг научных интересов Бруно Понтекорво был очень широк и не ограничивался указанной программой. Он очень внимательно следил за научной литературой, в том числе по рождению новых частиц. В 1951 г., проанализировав имевшиеся результаты опытов по рождению гиперонов и тяжелых мезонов и обнаружив резкое и непонятное несоответствие между значительной вероятностью их образования и относительно большими временами жизни 10^{-9}—10^{-10} с, он сформулировал, независимо от А.Пайса, гипотезу об ассоциативном образовании гиперонов и тяжелых мезонов в сильном взаимодействии. С целью проверки этой гипотезы группа Б.М.Понтекорво провела на нашем ускорителе специальный опыт по поиску одиночного рождения Λ-гиперонов и действительно не обнаружила их. Позднее справедливость гипотезы Понтекорво—Пайса была подтверждена в опытах на космотроне, где наблюдалось одновременное рождение Λ^0-частиц и K^0-мезонов, Σ^--частиц и K^+-мезонов в $\pi^- p$-взаимодействиях. На основе всех этих фактов позднее возникло понятие «странность», ставшее новым квантовым числом, разделяющим элементарные частицы на обычные и странные.

В 1956 г. в Дубне был организован Объединенный институт ядерных исследований. Я был назначен директором Лаборатории ядерных проблем этого института, базовой установкой которой являлся синхроциклотрон. Бруно руководил сектором в этой лаборатории. С тех пор наши взаимные контакты с Бруно стали более частыми и более тесными.

В 1957 г. Бруно Понтекорво выступил на семинаре с коротким докладом, в котором рассказал о возникшей у него идее о возможности превращения одного типа нейтрино в другой по аналогии с осцилляциями нейтральных каонов. Это явление может осуществляться только в случае, если нейтрино обладают отличными от нуля малыми массами. В то время идея осцилляций нейтрино была исключительно смелой и воспринималась многими как полет фантазии выдающегося физика. В настоящее время в десятках лабораторий занимаются поисками этого явления, рассматривая его как эффект, лежащий за рамками стандартной теории. Не исключено, что именно этим явлением объясняется наблюдаемый недостаток в потоке нейтрино от Солнца по сравнению с ожидаемым потоком, рассчитанным на основе стандартной модели Солнца. Наблюдение осцилляций было бы очень важным еще и потому, что это позволило бы определить разницу в массах различных типов нейтрино. Проблема осцилляций в течение многих лет

и фактически до конца жизни теоретически разрабатывалась Бруно Понтекорво совместно с С.М.Биленьким.

1959 г. ознаменовался двумя новыми замечательными идеями Бруно. Одна из них — это гипотеза о существовании мюонного нейтрино, отличного от нейтрино, испускаемых при обычном β-распаде ядер, а также предложение и расчет опыта по идентификации этого нового типа нейтрино в эксперименте на мощном ускорителе. Доклад об этом предложении Бруно сделал в 1959 г. на Рочестерской конференции в Киеве. В 1962 г. такой эксперимент был успешно выполнен на самом большом в то время ускорителе на 32 ГэВ в Брукхейвене, и его результаты (открытие мюонного нейтрино) принесли Нобелевскую премию трем американским физикам — Л.Ледерману, М.Шварцу и Дж.Штейнбергеру. Эта идея Б.Понтекорво явилась ключом, который открыл путь к широкому развитию нейтринных экспериментов на ускорителях высоких энергий.

Вторая идея Бруно 1959 г. относится к совершенно другой области знания — к астрофизике. Это гипотеза о возможности существования явления лептонного тормозного излучения (испускание пар нейтрино при соударении быстрых электронов с ядрами). Этот процесс может происходить на определенных стадиях эволюции звезд и играть существенную роль в энергетическом балансе Вселенной. Эта проблема активно обсуждалась Бруно с Я.А.Смородинским. Результатом дискуссий явилась их совместная статья «Нейтрино и плотность материи во Вселенной» (1961 г.). Следует отметить, что Б.Понтекорво систематически и очень интенсивно взаимодействовал с теоретиками. У него имеется значительное количество работ по актуальным проблемам физики частиц, написанных совместно с теоретиками В.Н.Грибовым, Л.Б.Окунем, С.С.Герштейном, С.М.Биленьким и др.

На протяжении всей своей жизни Бруно особенно вдохновенно и интенсивно работал над магистральными проблемами слабых взаимодействий. По-видимому, он был первым, кто из общих теоретических соображений рассматривал такой слабый процесс, как захват отрицательного мюона протоном, в целях извлечения из таких опытов сведений о константах слабого взаимодействия. Однако этот путь осложнен существованием различных мезоатомных и мезомолекулярных процессов, происходящих в водороде, и требовал предварительного тщательного изучения их. Поэтому Бруно избрал другой способ и в 1961—1962 гг. поставил совместно с Р.М.Суляевым и другими опыт по захвату отрицательных мюонов гелием-3, в котором, так же как и в $p\mu$-захвате, протон превращался в нейтрон. В качестве прибора была использована диффузионная камера, наполненная гелием-3, тщательно очищенным от трития (до 10^{-15} атомных долей). Это прибор-судья, как называл камеру Вильсона Резерфорд. Она служила одновременно и мишенью, и детектором. В этих опытах впервые была наблюдена сигнатура мюонного нейтрино в виде ядра отдачи ^{3}H, вылетающего из точки захвата мюона гелием-3. Авторам удалось: 1) измерить скорость реакции Λ ($\mu^3\text{He} \to {}^3\text{H} + \nu_\mu$), которая оказалась равной $\Lambda = (1{,}41 \pm 0{,}14)\cdot 10^3$ с$^{-1}$; результат очень хорошо согласовался с предсказаниями теории универсального слабого взаимодействия, согласно которой $\Lambda = (1{,}56 \pm 0{,}06)\cdot 10^3$ с$^{-1}$, и тем самым подтверждал изначальную ги-

потезу Бруно о симметрии мюон — электрон в процессах слабого взаимодействия с нуклонами; 2) получить по тем временам достаточно низкий предел для массы мюонного нейтрино ($M_{\nu_\mu} < 8$ МэВ/c^2).

В 1968 г. Бруно Максимович сообщил мне о своем намерении осуществить перевод на русский язык научных трудов Э.Ферми. Я горячо поддержал эту ценную идею и помог решить организационные вопросы. Благодаря энтузиазму Бруно и сотрудников лаборатории, которые с ним работали, труды Ферми были переведены и в 1971 г. изданы на русском языке в двух томах серии «Классики науки» с очень хорошей вступительной статьей и ценными комментариями, написанными Бруно.

Всех нас непрерывно восхищал высокий талант и огромные творческие способности гения — Бруно Понтекорво, его уменье обнаруживать новые явления, усматривать в кажущихся совершенно различными процессах сходные черты и делать далеко идущие обобщения. В связи с этим в день 80-летия Бруно Максимовича мы, его друзья и коллеги, преподнесли ему юбилейный адрес, в котором, в частности, написали: «Вызывает всеобщее восхищение способность Бруно Понтекорво генерировать глубокие идеи в любой области физики, привлекающей его внимание, и указывать пути их реализации». Прекрасной иллюстрацией этого являются все его работы, о которых речь шла выше. Но вот еще одна последняя, неожиданная и яркая иллюстрация могучего таланта Бруно Понтекорво. Сорок лет назад, в 1956 г., буквально спустя полгода после открытия Э.Сегре и другими антипротона, он опубликовал статью, в которой указал на возможность экзотических реакций аннигиляции антипротонов, запрещенных на одном нуклоне, но разрешенных, когда антипротон аннигилирует на ядре. Реальная возможность экспериментального изучения этих процессов, получивших название реакций Понтекорво, возникла только спустя тридцать лет в связи с вводом в действие в ЦЕРНе в начале восьмидесятых годов накопителя антипротонов малых энергий — LEAR. Обнаружилось при этом, что это целое невозделанное поле на ниве ядерной физики. И теперь уже в течение нескольких лет группа ученых нашей лаборатории, возглавляемая М.Г.Сапожниковым, вместе с итальянскими и другими физиками успешно изучает новые реакции на установке OBELIX и получает результаты высокой научной значимости.

Бруно Максимович Понтекорво, проработавший в России большую часть своей жизни, является гордостью и яркой звездой итальянской, российской и мировой ядерной физики. В 1958 г. он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, в 1964 г. стал академиком. За свои научные достижения и научно-организационную деятельность Бруно Понтекорво был удостоен Государственной и Ленинской премий, награжден многими орденами СССР. В течение многих лет он был профессором Московского университета, заведовал кафедрой физики элементарных частиц и воспитал целую когорту молодых ученых. Он возглавлял в академии научный совет по нейтринной физике, являлся «папой» нейтрино в нашей стране. Все крупные проекты по физике нейтрино обсуждались на совете Б.Понтекорво. К нему приходили за советом все, кто собирался ставить опыты по физике нейтрино. Его научный авторитет и требовательность к уровню

научных работ были очень высоки. Но все это сочеталось с искренней доброжелательностью и щедростью в раздаче идей.

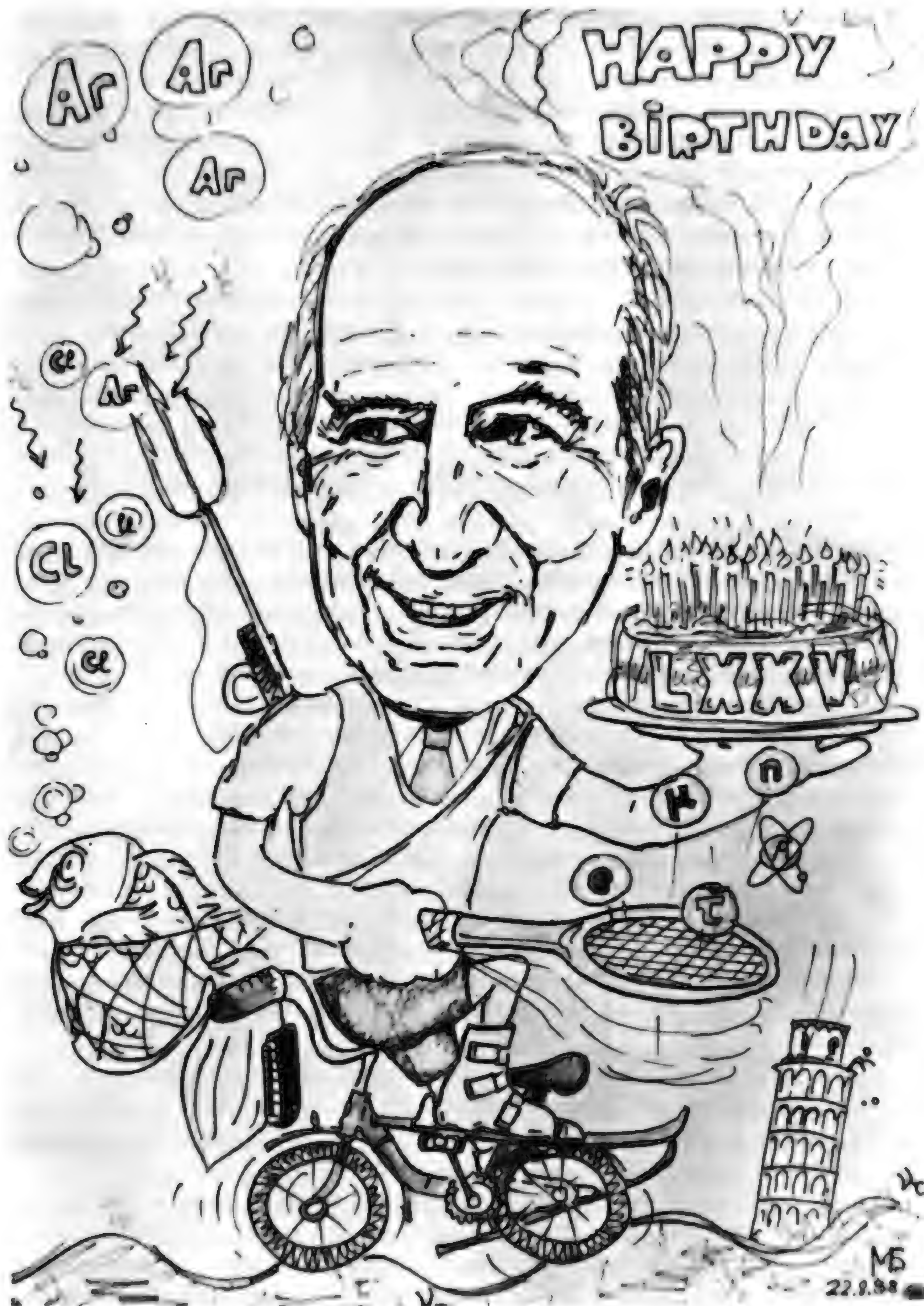
К большому сожалению, жизнь и деятельность Бруно Понтекорво у нас в стране долгое время омрачалась тем, что он был лишен права выезжать за границу. Лишь после моих хлопот, как директора лаборатории, и нескольких настоятельных обращений руководства института и Академии наук в высшие государственные инстанции в начале 1959 г. ему было дано разрешение на выезд за рубеж, но при этом только в страны-участницы ОИЯИ. Начиная с 1959 г. он посетил Китай, Болгарию, Венгрию (по несколько раз), Восточную Германию, Чехословакию, Польшу, Румынию, Монголию.

Невозможность поехать на родину, участвовать в международных конференциях, проходивших в западных странах, США, Японии, его крайне угнетала. Бруно Понтекорво принципиально не терпел и порицал любое проявление ущемления сводобы личности. Не случайно поэтому, что в период политического гонения на академика А.Д.Сахарова он категорически отказался поставить свою подпись под письмом, осуждающим идеи Сахарова о необходимости коренных изменений в государственной политике СССР, подписанным многими членами Академии наук СССР.

В Италию Бруно Максимович впервые получил разрешение поехать только в 1978 г. В это время у него уже начала проявляться болезнь Паркинсона. Начиная с 1980 г. он почти ежегодно бывал в Италии (иногда по два раза в год), где обычно проходил курсы лечения длительностью от одного до трех месяцев. Из Италии выезжал в Швейцарию и Францию. Во время пребывания в Италии Бруно Максимович смог принять участие в целом ряде международных конференций и рабочих совещаний по проблемам современной физики элементарных частиц, которые проходили в Италии, Франции, Испании и Швейцарии. Последний раз вернулся из Италии в Россию 20 июля 1993 г., а 22 августа в институте был торжественно отмечен его 80-летний юбилей. Однако с конца августа состояние здоровья Бруно Максимовича стало резко ухудшаться, и 24 сентября 1993 г. он скончался. Об этой тяжелой, горькой и невосполнимой утрате я узнал 25 сентября в Шереметьевском аэропорту, прилетев с международной конференции из Японии. Я был потрясен до глубины души этим печальным событием. В последний раз мы виделись у него дома 16 сентября, когда я зашел к нему накануне моего отъезда. Он лежал в постели, но чувствовал себя еще относительно неплохо и улыбнулся на прощанье.

Мой рабочий кабинет находился практически напротив кабинета Бруно. В течение всех 43 лет жизни Бруно в Дубне мы были друзьями. Он оказывал мне большую поддержку в моей многосложной работе на посту директора нашей лаборатории, который я занимал 32 года, начиная с 1956 г.

Трудно переоценить вклад Бруно в создание в лаборатории и институте атмосферы высокой требовательности к уровню научных работ и доброжелательной взыскательности при обсуждении новых экспериментальных и теоретических результатов. Он оказывал большое влияние на формирование направлений исследований в нашей лаборатории, ОИЯИ в целом, в ИФВЭ, в Отделении ядерной физики Академии наук. Под его непосредственным руководством выросла в лабо-



Шарж М.Биленького, преподнесенный Б.Понтекорво в день его 75-летия

ратории целая плеяда талантливых физиков. Это профессора В.Г.Зинов, С.М.Коренченко, Г.В.Мицельмахер, Л.Л.Неменов, А.И.Мухин, В.А.Жуков и другие, пришедшие к нему в отдел после окончания вузов. Несмотря на тяжелейшую болезнь, до конца своей жизни Бруно Максимович сохранял ясный ум, его мозг неустанно и плодотворно работал.

В нашей лаборатории в память о Б.М.Понтекорво учреждена международная премия его имени, присуждаемая ежегодно одному ученому за особо ценную научную работу или серию работ по физике элементарных частиц. Впервые эта премия была присуждена в 1995 г. широко известному итальянскому физику Уго Амальди за его большой вклад в физику слабых взаимодействий. Учреждены также две именные стипендии, присуждаемые ежегодно перспективным молодым ученым, работающим в лаборатории.

Для Бруно Понтекорво физика была его жизнью. Но при этом он был человеком широкой и глубокой культуры: любил театр, музыку, живопись, архитектуру. Увлекался разными видами спорта: был прекрасным теннисистом — играл красиво и изобретательно, виртуозно водил автомобиль, любил кататься на велосипеде и проделывать на нем различные трюки. Бруно обладал тонким чувством юмора. Любил шутить и показывать фокусы. Коронным его номером было балансирование тросточкой на кончике ботинка, на мизинце или на носу. Любил показывать танец кусочка шоколада в бокале с шампанским...

Во время отпусков часто отдыхал на Черном море в Крыму, в Коктебеле или Форосе, в компании ученых, знакомых художников или кинорежиссеров. Увлекался подводной охотой, часами плавая с маской в костюме «Калипсо».

Многогранность увлечений Бруно Понтекорво — научных и других — очень правдиво и талантливо изобразил Миша Биленький (сын профессора С.М.Биленького) в своем шарже, который был преподнесен Бруно в день его 75-летия.

Светлый образ Бруно Максимовича Понтекорво — гениального ученого и выдающейся личности — останется жить в сердцах многих и многих людей, которые имели счастье работать или общаться с ним. Признание своих научных заслуг и глубокое уважение к себе он заслужил навечно во всем ученом мире.

БРУНО МАКСИМОВИЧ

Л.Б.Окунь

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Первое яркое впечатление от встречи с Бруно Максимовичем оставила конференция в Тбилиси в октябре 1956 г. Это был красивый энергичный человек со спортивной фигурой, его лицо светилось умом и доброжелательностью. Его вопросы и замечания после докладов были остры и остроумны. Особый шарм им придавал итальянский акцент.

Все разговоры в кулуарах конференции были о *K*-мезонах и возможном несохранении четности. Незадолго до этого К.А.Тер-Мартиросян привез из Сиэтла препринт работы Ли и Янга. Обсуждение этой работы продолжалось и в день отдыха, во время автобусной поездки в Алазанскую долину. И сама долина, и дорога к ней были изумительно красивы, и Б.М. радостно реагировал на эту красоту. Но дорога заняла почему-то гораздо больше времени, чем ожидалось. И на поляну, уставленную снедью и вином, все приехали очень голодные. Возвращались в темноте; я оказался на последнем сиденье рядом с Б.М. и Марианом Яновичем Данышем — польским экспериментатором, незадолго до того открывшим гиперядра. Они прихватили с пиршества бутылку коньяка. Обсуждение *K*-мезонов продолжалось.

Следующая памятная поездка была из Москвы в Дубну вместе с Б.М. и И.Я.Померанчуком, который регулярно ездил в Дубну и брал с собой кого-нибудь из своих учеников. Перед железнодорожным переездом у Дмитрова машина остановилась в ожидании поезда. В это время мы с Б.М., поглощенные обсуждением того, как изменились бы осцилляции нейтральных *K*-мезонов, если бы существовало взаимодействие, меняющее странность не на одну, а на две единицы, пришли к выводу, что такое взаимодействие должно было быть сверхслабым. Я не придал этому результату особого внимания, но через несколько дней Б.М. приехал в ИТЭФ и буквально заставил меня сесть с ним за стол (в проходной комнате позади конференц-зала) и написать короткую заметку в «ЖЭТФ». Сам он писал по-русски не очень грамотно, предпочитая шлифовать фразы вслух. Он удивительно глубоко чувствовал различные тонкости и оттенки русского языка.

Что касается сверхслабого взаимодействия, то наша заметка вызвала отклик в литературе. В частности, Глэшоу опубликовал в связи с ней свою статью. В 1964 г., после открытия нарушения *CP*-инвариантности, Вольфенстайн предложил модель нарушения *CP* сверхслабым взаимодействием.

Б.М. очень любил устраивать разного рода розыгрыши. Дважды их жертвой был и я. Поводом для одного из них послужила неопубликованная, но получившая широкое хождение в 1957 г. работа Гейзенберга и Паули. В этой работе делалась попытка построить, исходя из идеи нелинейного фермионного «праполя», единую теорию всех частиц, вычислить их массы и величину элементарного электрического заряда.

© Л.Б.Окунь, 1997

На очередном семинаре П.Л.Капицы в среду Л.Д.Ландау выступил с докладом, в котором с редким для него восторгом говорил о близком завершении построения теории элементарных частиц. Семинар привлек небывалое число физиков. Конференц-зал был набит битком, так же как и примыкающий к нему холл и коридор на втором этаже Института физических проблем. Опоздавшие стояли на лестнице.

Однако далеко не все были в энтузиазме. Вскоре Паули отказался от соавторства и выступил с критикой Гейзенберга. И тут Б.М. и А.Б.Мигдал устроили розыгрыш, сочинив и отпечатав на бланке какого-то западного отеля (бланк дал им Даныш) мнимое письмо Гейзенберга Данышу. Б.М. привез письмо на четверговый семинар Ландау. Читал письмо Е.М.Лифшиц. «Гейзенберг» настаивал на том, что теория его правильна, и в качестве одного из аргументов ссылался на наблюдение необычной реакции с участием каскадного гиперона. В перерыве Б.М. уговорил меня выступить и разъяснить, что необычная реакция может быть объяснена обычным образом. А несколько минут спустя Мигдал обратил внимание собравшихся на странность в обсуждавшемся письме: первые буквы его шести абзацев складывались в русское слово «дураки»...

Б.М. любил и более простые, «практические» шутки. Как-то прогуливаясь с ним по Дубне, я, споткнувшись на ровном месте, столкнулся с ним. Он удержал меня от падения. Я поблагодарил и извинился. Через некоторое время я снова споткнулся и снова извинился. С третьего раза я наконец понял, что он незаметно ставит мне подножку.

Б.М. был непременным участником Ереванских школ. В апреле 1961 г. школа проходила в Нор-Амберде. У Б.М. был острый приступ радикулита, и массивный диван, на котором он полулежал, волоком, на ура, доставили в лекционный зал. Сразу же вслед за этим пришло сообщение о том, что в космосе находится Гагарин.

Другой эпизод: на верхней станции космических лучей во время завтрака обсуждается задачка на сообразительность. Имеются два стакана, наполненные наполовину: один — вином, другой — водой. Ложку вина переносят из первого стакана во второй и тщательно перемешивают. Затем ложку смеси из второго стакана переливают в первый и снова перемешивают. Операцию повторяют три раза. Спрашивается, чего будет больше: вина в воде или воды в вине? Очевидный ответ — поровну. Но молодой грузинский физик настойчиво утверждал, что вина будет больше. Все аргументы Б.М. он отметал одной и той же фразой: «Это существенно, но безразлично». Б.М. взорвался...

Запомнился подъем на лыжах от верхней станции к вершине Арагаца. Было это весной 1965 г. Нас было несколько человек, в том числе Л.Г.Ландсберг, который в тот день впервые стал на горные лыжи. Во время медленного подъема ярко светило солнце. Разговор шел о том, как возникают неправильные экспериментальные результаты, подобные «открытию варитронов» на станции космических лучей на Арагаце в конце 1940-х годов. Б.М. говорил о том, как важно и как трудно экспериментатору оставаться беспристрастным, не увлекаться кажущимся открытием, «работать против себя». По его мнению, один из основных источников ошибочных открытий — это невольный отбор тех результатов, которые

подтверждают открытие и придирчивое выяснение того, что в экспериментальной установке было «не так», когда результат противоречит какому-то желанному открытию. Какой-то «грех» почти всегда обнаруживается, и нежелательное измерение отбрасывается. А желательные, которые такой придирчивой проверке не подвергаются, остаются.

Когда мы достигли кромки кратера на вершине Арагаца, погода стала резко меняться. Вскоре все погрузилось в молоко тумана. Б.М., который был очень опытным горнолыжником, стал заботливо спускать нашу группу: несколько десятков метров почти по горизонтали вправо, разворот на месте, затем столько же влево. Спуск занял почти столько же времени, что и подъем. На станции уже начали беспокоиться.

Б.М. бывал у нас дома редко, но звонил почти ежедневно и всегда передавал привет моей жене. Как-то он позвал нас на просмотр картины его брата, знаменитого итальянского режиссера. Просмотр был в морозовском особняке в мавританском стиле, вблизи Арбатской площади. Картина была про французскую войну в Алжире, с натуралистическими эпизодами пыток. Смотреть ее было мучительно. Много лет спустя, в 1993 г., когда я читал недельный курс лекций в Пизе, я решил найти все три дома, где жила семья Понтекорво. Два из них отыскать было легко. В одном, недалеко от Пизанской башни, был отель, в другом, где когда-то была фабрика, принадлежавшая отцу Б.М., располагались математики университета. Третий дом на улице недалеко от железнодорожного вокзала я не нашел. Но первый же человек, которого я остановил на этой улице, с гордостью сказал мне, что учился в одном классе с Понтекорво-кинорежиссером.

Осенью 1990 г. мы встретились с Б.М. в Римском университете. К этому времени болезнь Б.М. — паркинсонизм — зашла уже очень далеко. Несмотря на десятки таблеток в день, тремор становился все сильней: ему было трудно ходить, есть, говорить по телефону. Телефонная трубка буквально прыгала у него в руках. Путь от университета до вокзала Термини был долгим. Мы часто останавливались. По дороге Б.М. рассказывал о том, что у его болезни есть необъяснимые странности. Так, например, ездить на велосипеде ему проще, чем ходить пешком (ходил он, опираясь на трость). Другой пример он продемонстрировал тут же на улице. Поставил трость на носок ботинка и долго балансировал ею. Моя попытка последовать его примеру кончилась немедленной неудачей. Он рассказал, как упал с велосипеда в Дубне, попав в автомобильный затор. В результате перелом бедра. На ноги его поставили хирурги в Италии, куда его привезли из Москвы.

Б.М. всегда очень серьезно относился к делам, связанным с Академией наук, особенно к выборам. Несмотря на нездоровье, он прилетел из теплого солнечного Рима в темную морозную Москву в декабре 1990 г., чтобы принять участие в выборах, исход которых в сильной степени зависел от его голоса.

Наши последние встречи прошли в Марселе в июле 1993 г. во время конференции «Лептоны и фотоны». Б.М. приехал на конференцию в сопровождении племянника, который помогал ему передвигаться и есть. В один из дней он предложил мне пообедать вместе. Мы взяли такси и поехали к выбранному им ресто-

рану, расположенному на оживленном перекрестке. Часть столиков стояла на краю тротуара. Б.М. выбрал один из них, так что многочисленные прохожие шли между нами и рестораном. Дул сильный ветер, унося зеленые бумажные салфетки и опрокидывая бокалы. Глядя на проходивших, Б.М. вдруг спросил: «Лев Борисович, а Вы заметили, что женщины в Марселе не так красивы, как в Париже?» — «Да нет, Бруно Максимович, как-то не заметил». — «А Вы посчитайте, сколько пройдет дурнушек, прежде чем появится одна красивая».

А в сентябре, менее чем через два месяца, я ехал из Москвы в Дубну, чтобы вместе со многими, кто знал и любил его, навсегда проститься с Бруно Максимовичем Понтекорво.

ПЕРВЫЕ ГОДЫ В НАУКЕ С БРУНО МАКСИМОВИЧЕМ

В.А.Жуков

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В начале 50-х годов мне посчастливилось познакомиться с Бруно Максимовичем Понтекорво и затем работать длительное время в руководимом им научном отделе. В этих заметках мне хотелось бы рассказать о Бруно Максимовиче как о человеке, об исключительных качествах его характера, которые так привлекали людей, когда-либо встречавшихся с ним. Вот несколько характерных эпизодов, которые мне особенно запомнились при общении с Бруно Максимовичем.

Первая встреча

Первая встреча оставила наиболее глубокий след в моей памяти, и мне кажется, что сейчас, спустя несколько десятилетий, я отчетливо представляю каждую деталь первого разговора с Бруно Максимовичем, когда он в течение каких-нибудь 15—20 минут продемонстрировал все свои исключительные душевные качества.

В 1952 г. после окончания Ленинградского государственного университета я был направлен на работу в Дубну, в Лабораторию ядерных проблем. Тогда это место называлось Ново-Иваньково, а сама лаборатория носила секретное название, ничего общего не имеющее с ведущимися в ней исследованиями. Директор лаборатории М.Г.Мещеряков быстро распределил нас, трех молодых специалистов из ЛГУ, по научным секторам. Заявки на нас были, по-видимому, направлены заранее, и решение о нашем конкретном месте работы уже давно было подготовлено. Мне М.Г.Мещеряков сказал, что я буду работать в секторе Понтекорво. Я не мог на слух точно разобрать незнакомую и довольно непривычную фамилию и некоторое время с непониманием смотрел на него. М.Г.Мещеряков, заметив это, спросил: «Он Вам неизвестен?» — и, не дожидаясь ответа, быстро сказал: «Сейчас Вы с ним познакомитесь».

Секретарь отвела меня в кабинет Б.М.Понтекорво. Я увидел быстро поднявшегося из-за рабочего стола моложавого человека, оказавшегося около нас, не успевших, можно сказать, переступить порог кабинета. Поблагодарив и отпустив секретаря, он подал мне руку. Мы представились друг другу. Помню, он назвал себя Бруно Понтекорво. Имя было произнесено отчетливо, но полностью разобрать фамилию я и на этот раз не смог. Первые годы пребывания его в Советском Союзе все действительно звали его просто Бруно и только спустя несколько лет как-то незаметно стали величать Бруно Максимовичем, переделав имя его отца Массимо на русский лад.

Внешность и пока еще значительный акцент бесспорно выдавали в нем иностранца. Зачесанные на бок уже редеющие волосы открывали высокий лоб;

© В.А.Жуков, 1997

проницательные, умные, чуть с прищуром глаза испытующе, но доброжелательно смотрели на меня; немного приподнятые от природы углы губ придавали его лицу доброе, слегка улыбающееся выражение. В элегантной, но довольно поношенной одежде заграничного покроя, в узких брюках, в ботинках на толстых подошвах он выглядел необычно для моего глаза, привыкшего видеть мешковатые костюмы на плечах наших людей того времени. Мне показалось, что он стеснялся своей поношенной одежды и непроизвольно заслонял истертые места. Он также непрерывно поправлял волосы на голове, старательно закрывая внушительный жировик на темени. Вскоре он сделал операцию, и жировик исчез навсегда.

Уже позднее, когда Бруно Максимович приобрел наш костюм, он выглядел совершенно по-нашему. Как многие в то время, он надевал в холода фетровые боты на свои ботинки и в сильные морозы даже появлялся на работе в русских валенках. Все это не гармонировало с его внешностью, его лицом, с его поведением. Но после того как в магазинах появились импортные товары, мы видели Бруно Максимовича уже всегда со вкусом, элегантно одетого. Иногда покупки делались следующим образом: в уик-энд совершалась прогулка на машине (или на машинах, если кто-то еще присоединялся) по окрестным деревням. В сельских магазинах можно было найти товары, которые в городе имели бы несомненный спрос, но не подходили для деревенской жизни. Бруно Максимович безошибочно из вороха костюмов, свитеров, ботинок находил самый модный предмет. Одежде он придавал, по-видимому, большое значение. Заметив на ком-нибудь новую, хорошо идущую ему вещь, он неизменно делал комплимент этому человеку.

Бруно Максимович усадил меня в кресло, а сам, не переставая ходить по комнате, попросил рассказать о моей дипломной работе. Все мои попытки встать не увенчались успехом. Мне казалось, что он ни минуты не остается в покое. Не переставая слушать, мгновенно реагировал на любой стук в дверь, услышав телефонный звонок, сразу же бросался из другого конца комнаты к телефонной трубке.

Моя дипломная работа была связана с созданием небольшого спектрометра на основе сцинтилляционного счетчика для исследования гамма-спектров радиоактивных элементов. В то время техника сцинтилляционных счетчиков входила в обиход физического эксперимента и уже интенсивно использовалась в экспериментах на ускорителях. Чувствуя еще недостаточное владение Бруно Максимовичем русским языком, я начал рассказывать медленно, выбирая простые фразы. Он сразу же это заметил, вежливо остановил меня, сказав, что будет лучше, если я буду говорить естественно, так как для него важно свободно ориентироваться в языке. Позднее мне рассказали, что в первое время после приезда из-за границы Бруно Максимович изъяснялся со своими сотрудниками по-английски, но уже спустя несколько месяцев потребовал, чтобы с ним говорили только по-русски.

Переступал я порог кабинета Бруно Максимовича, естественно, с напряженным чувством, будто шел на какой-то экзамен, где придется отвечать на каверзные и неожиданные вопросы. Но уже с первых слов мой рассказ о дипломной работе превратился в диалог между нами. Все выглядело так, как будто два человека, одинаково понимающие (или одинаково не понимающие) предмет разговора, пытаются что-то выяснить. Это была беседа равного с равным. Бруно Макси-

мович то присаживался ко мне, то быстро подходил к доске, чтобы нарисовать график, написать формулу. Я уже начинал осваиваться и с азартом объяснять что-нибудь, казавшееся мне очевидным. Бруно Максимович поправлял меня, но немедленно признавал и свои промахи возгласом: «Какой я глюпый!» Этот возглас несколько раз повторялся, когда он считал, что сказал что-то неправильно, или задумывался над очевидным ответом.

По-видимому, Бруно Максимович остался доволен моими познаниями. Затем он кратко и образно рассказал об условиях работы в лаборатории, о гигантском по тем временам ускорителе — синхроциклотроне. Но, понимая, что я, вчерашний студент, во время дипломной практики имел дело только с радиоактивными препаратами и небольшими настольными приборами, сказал, что мне лучше будет познакомиться на месте с установками лаборатории.

Подробнее, пожалуй, он говорил о Г.И.Селиванове — руководителе группы, в которой мне предстояло работать. Он охарактеризовал его как высококвалифицированного специалиста в области методики физического эксперимента и блестящего инженера. Особенно он подчеркивал, что для работы на таком мощном ускорителе без инженерного подхода к созданию аппаратуры не обойтись. Действительно, работая впоследствии многие годы с Г.И.Селивановым, я убедился в справедливости его слов. И хотя известно, что Бруно Максимович внес неоценимый вклад в решение фундаментальных проблем физического эксперимента, а также в исследование частных задач (например, в разработку пропорциональных счетчиков с большим усилением), он как-то с сожалением говорил, что для него самого трудно создать экспериментальную установку, где требовалось бы инженерное решение.

Само развитие техники ускорителей — гигантских машин физики элементарных частиц — требовало адекватного развития экспериментальной базы. В первые годы после пуска синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем на его пучках частиц практически не было крупных экспериментальных установок. Скорее всего зал ускорителя напоминал нагромождение бетонных защитных блоков, в недрах которых на пучках частиц прятались маленькие ионизационные камеры, небольшие установки с пропорциональными и сцинтилляционными счетчиками. Бруно Максимович сокрушенно качал головой и говорил, что так не должно быть. С годами обстановка, конечно, изменилась: появились современные установки, пузырьковые камеры, диффузионные камеры, сложные годоскопические системы и др., но, по-видимому, время наиболее эффективного использования самого мощного в то время ускорителя было упущено.

Бруно Максимович видел идеал исследователя в гармоническом сочетании способностей теоретика, экспериментатора и инженера. В пример он ставил своего гениального учителя Э.Ферми, который блестяще сочетал эти качества. Чаще всего он рассказывал о случае, когда Э.Ферми изящно решил проблему создания дистанционно управляемой мишени в труднодоступной радиационно опасной зоне ускорителя. Позднее вышла брошюра Бруно Максимовича с биографией Э.Ферми. Здесь снова и снова Бруно Максимович приводит примеры этого уникального качества Э.Ферми. Конечно, и пример с мишенью для ускорителя нашел там отражение. Когда Бруно Максимович слышал, что кто-то говорил о научном

результате как о высшем достижении, отводя методике, с помощью которой был получен результат, «второсортную» роль, он сильно возмущался.

После беседы он проводил меня в группу, в которой мне предстояло работать. Мне было неловко, когда он, то и дело забегая вперед, открывал очередную дверь, предупредительно пропуская меня перед собой. Я безуспешно пытался задержаться, пропустить его вперед. Мне казалось более естественным, если бы он как хозяин положения вел меня за собой. (Не могу удержаться, чтобы не сказать, что не раз приходилось наблюдать со стороны, как красиво и элегантно Бруно Максимович открывал дверь перед женщиной, пропуская ее вперед.)

Конечно, первым моим желанием было подробнее узнать у моих коллег по работе о Бруно Максимовиче. И когда мне отчетливо произнесли его фамилию и показали ее написание на русском и английском языках, я понял, что не так уж незнакома мне эта фамилия. Дело в том, что при выполнении дипломной работы в университете со мною в одной комнате находился мой товарищ, который делал аналогичную работу, но с использованием пропорциональных счетчиков. На его столе лежал журнал «Physical Review», раскрытый на статье о пропорциональных счетчиках, автором которой был Б.М.Понтекорво. Я тогда, конечно, не думал, что автор статьи, которую мы обсуждали с моим коллегой-студентом, будет моим руководителем на долгие годы. Бруно Максимович часто приводил примеры таких неожиданных встреч и не раз доказывал, как через два-три промежуточных знакомства можно оказаться близким человеком, например, президенту США.

Первое задание. Отношение к приоритетам. Эксперименты на ускорителе

В последующие дни мне показали установки лаборатории. Тогда меня все поражало: уникальный в то время ускоритель, новая техника, размах проводимых исследований.

Нужно сказать, что в те годы практически все мы, сотрудники сектора Бруно Максимовича, были молодыми специалистами, недавно окончившими университеты и институты. Поэтому важное значение для нас имела не только постановка научной задачи, что Бруно Максимович делал с присущими ему мастерством и смелостью, но и то, как нужно проводить исследования. Он это чувствовал и сам непосредственно принимал участие во многих экспериментах, иногда как обычный исполнитель, занимаясь, например, установкой коллиматоров, выводом пучка частиц, сборкой защиты от фоновых частиц, измерениями на установке, в том числе и в ночные смены. Это была хорошая школа общения с Бруно Максимовичем во время эксперимента, потому что любая, даже вспомогательная, работа расценивалась им как важная физическая задача, от правильного решения которой зависел исход эксперимента. В старых моих лабораторных журналах, хранящихся до сих пор, можно найти записи многочисленных экспериментальных данных, сделанных рукой Бруно Максимовича в ходе набора статистики. Он учил нас, как нужно делать записи, как бережно относиться ко всем экспериментальным данным, не выбрасывая без тщательного анализа даже результаты, полученные во

время сбоя аппаратуры. В конце каждого эксперимента он обязательно требовал записывать выводы, которые служили основой обработки экспериментальных данных и подготовки для проведения следующих измерений.

Конечно, невозможно было достичь того уровня научного мышления, которым обладал Бруно Максимович, но многому, что способствовало развитию у нас экспериментальной культуры, удалось у него научиться. Эта замечательная черта — внимательное отношение к начинающим ученым — являлась характерной для Бруно Максимовича.

Первое мое задание, сформулированное Бруно Максимовичем, состояло в подготовке аппаратуры и проведении эксперимента по исследованию рождения π^0-мезонов в столкновениях протонов с энергией 465 МэВ с протонами. Схема эксперимента была довольно проста. Нужно было регистрировать гамма-кванты от распада π^0-мезонов. Перед детектором ставилась свинцовая пластинка, в которой гамма-кванты конвертировали в электронно-позитронные пары. В качестве детектора этих пар Бруно Максимович предложил использовать детектор черенковского излучения. В черенковском детекторе использовалась вода, чтобы снизить фон от других тяжелых частиц с более высоким порогом черенковского излучения в воде. Задача оказалась не очень сложной, и за несколько месяцев мне под руководством Бруно Максимовича и с помощью коллег удалось подготовить аппаратуру и провести измерения.

Я не буду рассказывать о деталях всей проделанной работы, но в связи с этим экспериментом мне запомнилось одно обстоятельство, о котором Бруно Максимович неоднократно при случае напоминал. Изготовленный мною черенковский счетчик оказался первым счетчиком такого типа в лаборатории. Я не придавал этому приоритету никакого значения, да и не мог придавать, так как идея использования счетчика в эксперименте принадлежала Бруно Максимовичу: я был просто техническим исполнителем. Позднее я никогда не занимался методикой черенковских счетчиков. Тем не менее Бруно Максимович всегда держал этот случай в памяти и, если представлялась возможность, говорил: «А вы знаете, что первый черенковский счетчик в нашей лаборатории изготовил Жуков?» Последний раз я слышал эту фразу, когда пришло время справлять собственную юбилейную дату. Я всегда возражал против такой чести для меня, а на мои возражения Бруно Максимович отвечал: «Когда я работал в Англии, в Харуэлле, то у меня был студент по фамилии Джелли. Я ему также предложил использовать черенковский счетчик в эксперименте, и он также был первым в этой лаборатории, кто сделал черенковский счетчик». В 1960 г. в России вышла переведенная с английского языка книга «Черенковское излучение и его применения», автором которой был Дж.Джелли. Бруно Максимович был очень внимателен к заслугам (даже незначительным) других людей. Он решительно возражал против включения его самого в авторский коллектив статьи, если чувствовал, что его вклад в работу недостаточен. Конечно, он переживал и из-за несправедливости в отношении собственных приоритетов. Приходилось несколько раз слышать с горечью произнесенные им слова о несправедливом замалчивании или приписывании другим людям в западных публикациях принадлежащей ему идеи об осцилляциях нейтрино.

Когда шли измерения на ускорителе, Бруно Максимович ни на минуту не отходил от регистрирующих приборов, мгновенно реагируя на возникающие сбои, непредвиденные отклонения в показаниях. Он сердился, когда дело долго не ладилось. При крупных сбоях, которые нам казались почти аварийными, мы предлагали просто исключить показания приборов и не записывать их в лабораторный журнал. Эти попытки решительно пресекались Бруно Максимовичем: «Вы должны записывать все, в том числе и условия, при которых произошел сбой. Что плохо работало: ускоритель или ваша аппаратура? И только потом, после тщательного и обоснованного анализа записи, вы вправе исключить эти измерения».

Часто происходило так: Бруно Максимович после очередной серии измерений диктовал показания с пересчетных схем, а я записывал. Конечно, современному молодому ученому это покажется смешным. Сейчас такие операции делает ЭВМ. Но в те времена иного пути не было. Вначале он вполголоса произносил числа по-итальянски, а затем вслух — по-русски. Со временем я незаметно привык к незнакомым звукам и иногда, не дожидаясь перевода, правильно записывал цифры. Однажды он удивленно посмотрел на мою запись и спросил, откуда я знаю итальянский. Я ответил, что это получается как-то автоматически и что я на самом деле ничего не знаю по-итальянски. Он задумался и сказал, что, действительно, в молодые годы все воспринимается легко и незаметно. Тут же привел пример, как в 1936 г., когда ему было чуть больше двадцати, он впервые приехал из Италии в Париж, в Институт радия, и уже буквально через несколько недель свободно выступал на семинарах на чужом языке. И добавил: «А вот в Дубне, когда после рассекречивания работ, ведущихся в лаборатории, представилась первая возможность открыто выступить на конференции с обзорным докладом, я чувствовал себя неуверенно. У меня был выбор: говорить по-английски или по-русски. Я решил говорить по-русски. Вы знаете, я никогда так не волновался, чувствовал себя школьником. Тогда мне было еще рано выступать по-русски». Бруно Максимович впоследствии в совершенстве овладел русским языком, хотя и не смог избавиться от акцента. Доклады он делал увлекательно, просто и доступно, можно сказать, на пальцах объясняя сложные мысли. Когда мы писали совместные статьи, то нас поражало его чутье к тонкостям изложения мысли на русском языке. Он быстрее нас находил ошибки, исправлял неудачные фразы, формулировал точные выражения. Я не знаю, думал ли он вначале на родном языке, а потом переводил мысль в русскую фразу, но окончательно записанное предложение получалось безупречным.

Когда заканчивался сеанс измерений на пучке частиц, мы сообщали об этом на пульт управления ускорителем. Ускоритель отключался, и мы, приведя в порядок рабочие места, собирались расходиться. Вдруг Бруно Максимович произносил: «А вы, кажется, не поблагодарили ускорительщиков. Сегодня ускоритель работал великолепно». На пульте управления ускорителем дежурили иногда наши сверстники, отношения между нами были товарищеские, и мы часто не придавали значения таким «мелочам».

Сам Бруно Максимович никогда не оставлял без внимания любую услугу, даже сделанную в связи со служебными обязанностями. На любую благодарность следовала ответная благодарность. Я бережно храню конверт с запиской от Бруно

Максимовича, в которой сказано: «Дорогой Василий Александрович! Спасибо большое за Ваши теплые слова в связи с моим днем рождения. Желаю самого лучшего Вам и Вашей семье. Б.М.Понтекорво». Оказавшись в день юбилея Бруно Максимовича далеко от Дубны и не имея физической возможности присутствовать на юбилее, я послал ему поздравительную телеграмму. Бруно Максимович отсутствовал в Дубне, когда я туда вернулся. Но прежде чем уехать, он позаботился оставить эту записку.

Отношение к авторитету

Бруно Максимович пользовался огромным авторитетом в научных кругах, среди коллег по работе. Конечно, при такой известности ему всегда шли навстречу в его просьбах. Он очень тактично пользовался своим влиянием, чтобы получить какие-то преимущества. В отделе, руководимом им, как и в других подразделениях, всегда чего-нибудь не хватало: нужны были дополнительные штатные сотрудники, средства, сверх выделенных, для приобретения аппаратуры, дополнительные ресурсы в мастерских и т.д. Дать это мог только директор лаборатории. Долгие годы им бессменно был Венедикт Петрович Джелепов. Венедикт Петрович относился к Бруно Максимовичу с величайшим уважением, он почти боготворил его. И когда возникало в группе безвыходное положение в разрешении какой-либо проблемы, мы, зная, что возможности директора также сильно ограничены, так что прямое обращение к нему наверняка окончится неудачей, обращались к Бруно Максимовичу за содействием. Прежде чем пойти к Венедикту Петровичу, он требовал обосновать эту претензию и, только взвесив все и поняв, что иначе поступить нельзя, шел к директору. Не было случая, чтобы его просьба не удовлетворялась, но Венедикт Петрович, зная, конечно, инициаторов этого дела и встретив кого-нибудь из нас, отчитывал: «Друзья мои! Разве можно так поступать? Вы прекрасно знаете, что я не могу отказать Бруно Максимовичу. Но вы должны понимать, что я сделал почти невозможное, удовлетворив эту просьбу».

Приходилось Бруно Максимовичу обращаться с просьбами и к людям, с которыми он не был лично знаком. Мне казалось иногда, что он не только был озабочен удачным исходом разговора. У него появлялось и какое-то детское любопытство на то, как реагируют на его известность.

Помнится, для разработки криогенной аппаратуры, которая начала широко внедряться в эксперимент, нам очень нужно было принять на работу специалиста-криогенщика. Специальность была дефицитная. Мы неоднократно из институтов брали студентов-дипломников подобного профиля в надежде, что после защиты дипломной работы хоть один из них будет оставлен у нас по нашей заявке. Но когда приходило время распределения студентов, выигрывали, как правило, более мощные предприятия. Тогда Бруно Максимович решил лично обратиться к ректору одного из институтов, студент которого проходил у нас практику. Бруно Максимович не был лично знаком с ректором. Разговор состоялся по телефону. Секретарь Ирина Григорьевна, которая организовывала разговор, авторитетно за-

явила человеку, взявшему трубку на другом конце провода: «С Вами будет говорить академик Понтекорво». Конечно же, Бруно Максимович говорил не как академик, а как простой проситель. Даже какая-то застенчивость пронизывала его речь. Наступила пауза, собеседник, по-видимому, раздумывал, и Бруно Максимович смотрел многозначительно на нас, немного улыбаясь. В душе он уже знал, что все будет в порядке. Через минуту характерное бруновское «спасибо» возвестило нам, что разговор благополучно завершен. Телефонная трубка положена на место — и нужно только представить сияющее лицо Бруно Максимовича, как студента после успешного экзамена, и слышать его победоносный возглас: «Полючилось!».

Забавные случаи

С кем они не происходят! Но каждый, кто попадает в смешное положение, принимает его по-своему: кто-то с раздражением, кто-то с досадой. Поведение Бруно Максимовича в курьезных случаях какое-то трогательное, неповторимое.

Однажды в первый год знакомства с ним я вижу, как Бруно Максимович и еще один сотрудник идут в лабораторию. Недалеко от лаборатории на перекрестке двух улиц прохаживается инспектор ГАИ. Я вижу, как Бруно Максимович останавливается перед инспектором и что-то показывает ему. Тот удивленно смотрит. Бруно Максимович прячет в карман показываемый предмет и идет дальше. Несколько было поотставший его спутник ускоряет шаг и о чем-то спрашивает Бруно Максимовича. Тот останавливается, хватает себя за голову, и оба заразительно смеются. Инспектор ГАИ также приветливо им улыбается. Оказывается, Бруно Максимович, поглощенный своими мыслями, увидев человека в форме, машинально предъявил ему пропуск в лабораторию: в то время проходная лаборатории охранялась военными в форме.

Задумчивость и озабоченность были причиной и более серьезных приключений. Первая машина, приобретенная Бруно Максимовичем в Советском Союзе, была «Победа». Если он ехал из Дубны в Москву или обратно, то с удовольствием приглашал на свободные места в машине попутчиков из своих знакомых. Однажды мы договорились о том, что он меня и еще одного коллегу по работе возьмет с собой из Москвы в Дубну. В назначенное время мы отъехали от его дома на улице Горького. Спустя некоторое время Бруно Максимович вспомнил, что забыл выполнить семейное поручение: купить московского хлеба. Быстрый разворот — и машина припарковалась у ближайшей булочной. Пассажиры также, проявив интерес к покупкам, вышли из машины. Бруно Максимович немного задержался, чтобы запереть двери изнутри. Выйдя из машины и хлопнув своей дверью, он тотчас же воскликнул: «Что я сделал?» Оказывается, связка ключей осталась в замке зажигания, а дверь с предварительно опущенной защелкой прочно закрылась. Конечно, никто уже не думал о хлебе. Мы грустно ходили вокруг машины и обсуждали варианты, как открыть двери. Иногда подходили прохожие и, узнав причину нашей суеты вокруг машины, сочувствовали нам. Не спеша подошла тройка молодых людей. Один из них, узнав в чем дело, подумал некоторое время,

запустил руку в карман брюк и извлек оттуда огромную связку ключей. Поколдовав у запора двери, он моментально открыл ее. Не ответив на наши благодарности, троица не спеша, в развалку пошла дальше. После этого мы половину пути обсуждали способы, как уберечь машину от угона.

Как академик, Бруно Максимович в Москве пользовался персональной машиной от Академии наук. Отправляясь из Дубны в Москву, он часто поступал так: до Москвы добирался безостановочным поездом, а для встречи его на Савеловском вокзале, куда прибывал поезд, заказывал по телефону академическую машину. Если кто-то из знакомых оказывался вместе с ним в поезде, Бруно Максимович всегда предлагал место в машине, чтобы подвезти его, скажем, до ближайшей станции метро (в те времена линия метро еще не подходила к Савеловскому вокзалу). Случалось и мне пользоваться услугами Бруно Максимовича. Уже на половине пути к Москве Бруно Максимович начинал беспокоиться, удастся ли ему найти заказанную машину на площади вокзала в указанном месте. Не раз происходили ошибки, когда то ли секретарь в Академии наук, то ли водитель неправильно понимали указания Бруно Максимовича, данные по телефону. Мы выходили из поезда на привокзальную площадь. Конечно, машины в указанном месте не было. Бруно Максимович возмущался. Затем начинался поиск машины. На плохо освещенной площади было трудно различить среди рядов машин нужную. Наконец, кажется, похожая машина найдена. Бруно Максимович бросается к ней, но в это время водитель решает сменить место стоянки, по-видимому, считая, что он выбрал его неправильно. Машина срывается с места. Бруно Максимович, крича и размахивая портфелем с присущим ему темпераментом, бежит за машиной. Водитель, конечно, ничего не слышит из-за шума двигателя. На мгновение остановившись в облюбованном месте, водитель снова меняет решение и перегоняет машину на новое место. Наконец, машина поймана. Водитель оправдывается как может. Бруно Максимович извиняется перед своими спутниками и ругает людей, неправильно понявших его. Но уже через мгновение все забыто, и в салоне машины идет веселый разговор на другую тему. Когда в следующий раз оказывается, что машина ждет его точно в указанном месте, восторгу Бруно Максимовича нет предела.

Бруно Максимович не прочь был пошутить. Я слышал о многих его блестящих первоапрельских шутках, свидетелем которых я, к сожалению, не был. По-доброму остроумно он мог пошутить и с собеседником.

Помнится, как в первые годы моего знакомства с ним мы проводили эксперимент на ускорителе. Эксперимент шел непрерывно в течение многих часов, и работа на установке была посменной. Случилось так, что я с Бруно Максимовичем оказался в одной смене. И хотя сменившие нас коллеги пришли вовремя, пришлось нам задержаться до глубокой ночи, так как многое не ладилось в работе. Расходились мы с ним по домам измученные, как мне помнится, почти на рассвете. Перед расставанием он неожиданно сказал: «А ведь Вы, наверное, голодны. Да и я ужасно хочу есть. Пойдемте ко мне. Может быть, найдем что-нибудь покушать». Тогда я был одинок, дома у меня хоть шаром покати, и я почти без колебаний принял приглашение. В его доме все спали. Мы тихо устроились в гостиной. Бруно Максимович достал все, что оставалось съестного, из холодиль-

ника. Вдруг он спросил: «А что пьют русские перед едой?» Я, конечно, ответил, что пьют водку. Я не думал, что мы будем что-то пить, но он достал бутылку водки и наполнил две небольшие рюмки. После напряженной ночной работы и усталости два-три глотка алкоголя заметно подействовали, и наш разговор сразу же оживился. И хотя мы больше не пили, непринужденная беседа продолжалась и дальше.

Я помню, что Бруно Максимович много говорил о кино: его брат был известным кинорежиссером. Неожиданно он спросил меня, не знаю ли я песенку из одного советского фильма, название которого он не помнит, но который ему понравился. Он напел мелодию, и я сразу сообразил, что это мелодия песенки «Крутится-вертится шар голубой...» из «Трилогии о Максиме». Он попросил меня спеть эту песенку, что я и сделал как умел. «А теперь послушайте Ваш голос», — сказал он и нажал кнопку магнитофона. Я, конечно, не ожидал, что шла запись. Так как исполнение было ужасным, я тут же начал просить Бруно Максимовича стереть эту запись. Но он уговорил меня отказаться от моего требования и предложил прослушать еще несколько голосов, запись которых, возможно, была сделана таким же образом. Я уходил от него, когда уже рассвело.

Об этом ночном ужине он часто вспоминал в шутливых разговорах. Иногда в компании, где оказывался и я, Бруно Максимович вдруг обращался к окружающим: «А вы знаете, что однажды мы вместе с Василием Александровичем ночью были так пьяны, так пьяны...» И начинал описывать наш ночной «пир», лукаво наблюдая за моей реакцией. Конечно, первым моим желанием было опровергнуть его слова. Он же, слыша мои протесты, продолжал еще красочнее рассказывать об этом «кутеже». Наконец, приходилось сдаваться и вторить ему.

Продолжая «алкогольную тему», Бруно Максимович уже рассказывал слушателям о другой шутке, проделанной им с довольно известными людьми, которых он угощал двумя сортами вина: итальянским кьянти и каким-то другим, обычным вином. Перед угощением он поменял содержимое бутылок, перелив обычное вино в бутылку с этикеткой «Кьянти», а кьянти — в обычную бутылку. Бруно Максимович весело рассказывал, как его собеседники, завороженные этикеткой «Кьянти», восторгались вином из этой бутылки и совсем неодобрительно относились к вкусу вина из другой бутылки.

Можно еще очень много рассказать об этом замечательном человеке — Бруно Максимовиче Понтекорво, о его увлеченности наукой и жизнью, о его необыкновенном даре привлекать к себе людей разного возраста и разных интересов. Было бы очень приятно, если бы из этих сухих и неуклюжих зарисовок у читателя составилось образное представление о Бруно Максимовиче.

СПАСИБО, ДОРОГОЙ БРУНО МАКСИМОВИЧ

Т.Д.Блохинцева
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Практически вся моя профессиональная жизнь прошла в отделе, руководимом Бруно Максимовичем Понтекорво. Будучи студенткой МГУ, я пришла в Лабораторию ядерных проблем ОИЯИ в 1958 г. и с тех пор пребываю в стенах этой лаборатории. Не буду, или почти не буду, писать о научной стороне деятельности Бруно Максимовича. Может быть, это покажется несколько странным — ведь речь идет о крупнейшем физике нашего времени. Но есть люди, которые напишут о научном гении Бруно Понтекорво с большим основанием и более глубоким пониманием. Кроме того, научные интересы Бруно Максимовича лежали в несколько иной области, нежели та, которой занималась наша группа. Конечно, это никак не исключало многочисленных дискуссий, советов, «подталкиваний» в правильную сторону, ярких и точных замечаний. Да что говорить — при входе в кабинет, где работал за столом или стоял у доски этот красивый человек с умными и поначалу веселыми, а к концу жизни проницательно-грустными глазами, чувствовалось, что входишь в храм знаний и духовной красоты. Таково было мое ощущение при первой встрече, когда Бруно Максимович вызвал меня в кабинет для знакомства с новым и очень молодым научным кадром. С течением времени это ощущение лишь углублялось, расширялось и превращалось в понимание исключительности этого человека.

Мне посчастливилось знать Бруно Максимовича (или, во всяком случае, бывать рядом) в течение длительного времени и видеть его в разных проявлениях: научные семинары и дискуссии, общественная деятельность, семья, работа со студентами, спорт, шутки, розыгрыши — и постоянное решение сложных моральных проблем, требующее большой работы души и проявления глубинных качеств характера.

И все же я сознаю, что мне известна лишь вершина айсберга и, может быть, небольшая доля подводной глыбы. В течение столь длительного и неповерхностного знакомства Бруно Максимович не переставал удивлять проявлением новых качеств; точнее, он просто оставался верен своей цельной натуре во всех ситуациях; ни возраст, ни болезнь, ни самые сложные обстоятельства не сгибали, даже, можно сказать, не затрагивали главного стержня его личности.

Красивый, элегантный в поведении и в одежде, всегда готовый к шутке, к восприятию радости и красоты, — таким виделся Бруно Максимович в свои свободные минуты. Их было немного, этих минут, но использовал их он очень активно. Консерватория, кинофестивали, теннис, подводное плавание, горные лыжи, поездки на природу, будь то осенние опята или подводная, а иногда и почти подледная, охота на Плещеевом озере.

© Т.Д.Блохинцева, 1997

О разносторонности Бруно Максимовича можно говорить часами и писать повести и юморески. Приведу некоторые эпизоды или разговоры, характеризующие различные грани его многочисленных талантов и увлечений.

«Вы знаете, что я был чемпионом Калининской (ныне Тверской) области?» — «Да, конечно, знаю». Далее последовал рассказ о том, что в возрасте 16 лет Бруно был включен в юношескую команду Италии и должен был поехать на «сборы» во Францию. Но родители не пустили, считая это занятие несерьезным и полагая, что Бруно должен готовиться к поступлению в университет. Удивительным в этом рассказе было то, что в голосе Бруно Максимовича еще звучала горькая мальчишеская обида на родителей. Пришлось прямо-таки утешать его, уверяя, что ведь и в физике получилось неплохо. Да, конечно, но и чемпионом Италии по теннису тоже хотелось бы быть. Чемпионство не состоялось, но теннисистом Бруно был превосходным и украшал корты как своей игрой, так и неизменно белоснежным костюмом. Был он и страстным болельщиком. Настолько страстным, что многие годы, несмотря на предельную занятость, ездил в Таллин, чтобы там по финской телепрограмме смотреть Уимблдонский турнир. Мне не пришлось видеть Бруно Максимовича играющим в футбол, но «болел» он прямо-таки опасно, настолько темпераментной была его реакция. А когда кто-то из ученых высказал некое пренебрежение к столь неинтеллектуальному занятию, Бруно Максимович посмотрел на невежду укоризненно-уничтожительным взглядом и сказал: «Если бы у меня было две молодости, одну из них я проиграл бы в футбол».

Можно было бы прибавить молодость и на велосипед. «Я мог бы выступать в цирке», — это высказывание Бруно не было преувеличением.

Легендарными были и его фокусы с автомобилем. Водил машину он блестяще. И вот в разгар беседы Бруно снимал руки с руля и продолжал управлять коленями. Сидящему сзади этого не было видно, и пассажир начинал нервничать. А Бруно Максимович продолжал непринужденную беседу, с коварным удовольствием наблюдая, как бледнеет собеседник. Кончалось все общим смехом.

Мне известно два случая, когда этот розыгрыш не удался. В первом случае на заднем сиденье расположилась молодая дама с ребенком. Бруно отнял руки от руля, лицо его выражало едва скрываемое предвкушение радостного спектакля. Однако дама отреагировала мгновенно: «Бруно Максимович, я знакома и с Вашим искусством вождения, и с Вашей любовью к фокусам. Но когда я в машине с ребенком, чувство юмора мне изменяет». Бруно Максимович сразу же поскучнел и послушно взялся за руль.

Второй случай был связан с таким замечательным пассажиром, как Яков Абрамович Смородинский. Как только автомобиль тронулся, завязалась оживленная беседа. Яков Абрамович увлеченно рассказывал о последних новостях науки вперемежку с новостями из книжного мира (Яков Абрамович узнавал об издании книги в любой части земного шара со скоростью, явно превышающей какие-либо естественно-научные возможности). И вот в разгар столь интеллектуальной беседы Бруно снял руки с руля — никакого впечатления. Начал жестикулировать, затем насвистывать — никакой реакции. Наконец, он развернулся к заднему сиденью, что было уже несколько опасно для «коленного» управления. И тут Яков Абрамович невозмутимо спросил: «У Вас машина с автоматическим управле-

нием? Какой марки?» С теоретиком шутка не удалась, что, впрочем, не помешало общему веселью.

Бруно Максимович прекрасно знал и любил классическую музыку. Часто посещал консерваторию, причем «без отрыва от производства». В 4 часа уезжал, а поздно вечером или рано утром возвращался в Дубну. Мог часами насвистывать Верди.

Был большим знатоком кино и гордился тем, что одна из итальянских газет поставила его как кинокритика выше младшего брата Джилло — известного итальянского кинорежиссера.

Очень любил поэзию, Данте боготворил, часто цитировал и на итальянском, и на русском языке.

Преподнося любимому внуку Саше первые уроки нравственности, в качестве поддержки Бруно Максимович часто привлекал грузинского классика Шота Руставели: «Что отдал, то твое». Вслед за этим проводились практические занятия. Помнится, от двухлетнего мальчика потребовали, чтобы он поделился только что подаренной конфетой. Конфета была трудноделимая, и маленькие пальчики, как ни старались, не могли отломить кусочек. Но дедушка был неумолим. И наконец Саша пришел к правильному решению: откусил и с облегчением протянул маленький кусочек. Истины ради надо добавить, что игра была нечестной, так как к литературному аргументу Бруно присовокупил более традиционный и очень действенный: «Не покатаю на велосипеде». Саша вырос, и теперь уже можно с уверенностью сказать, что ранние уроки нравственности (конечно, вместе с генотипом) дали прекрасный результат.

Возвращаясь к многочисленным увлечениям Бруно Максимовича, хотелось бы еще вспомнить его подводную охоту, и не только в Крыму, но и на Дальнем Востоке. Там он читал лекции пограничникам и настолько понравился им, что получил документально оформленное звание «Почетный пограничник СССР». Этим документом Бруно Максимович очень гордился, тем более что документ этот по какой-то причине магическим образом действовал на инспекторов ГАИ.

Влияние Бруно Максимовича на научный и морально-психологический климат в нашей лаборатории трудно переоценить.

В конце 50-х и в 60-е годы лабораторные семинары и защиты диссертаций могли служить показательными образцами в своем жанре. Доброжелательность, с одной стороны, и научный профессионализм, с другой стороны, — такова была атмосфера в лаборатории. В значительной степени мы обязаны этим Бруно Максимовичу и, конечно, неизменно демократической дирекции.

Состояние коллектива, даже очень профессионального, сильно зависит от присутствия авторитетной личности, определяющей общий настрой. Такой личностью в нашей лаборатории был Бруно Максимович. Он являл собой пример истинного демократа. Соблюдение законов, априорное уважение к чужому мнению, умение выделить и принять к сведению то, что приведет к правильному решению, неизменная приверженность истине — эти личные качества Бруно Максимовича накладывали отпечаток на весь коллектив. В лаборатории действовал незримый закон, требующий профессионального и нравственного поведения как в науке, так и во взаимоотношениях.

Бруно Максимович обладал исключительной научной интуицией и столь же исключительными качествами физика-экспериментатора. Его идеи всегда относились к фундаментальным явлениям, а опыты и проекты опытов — к шедеврам экспериментального мастерства. Однако это не мешало ему ценить результаты менее масштабные, лишь бы они были достоверными. Последнее требование было неукоснительным. Случалось, что во время семинара наступала тишина, говорившая о том, что аудитория либо перестала понимать докладчика, либо несколько сомневается в обоснованности результатов. И тут раздавался голос Бруно Максимовича: «Простите, я идиотто*, я не совсем понял, как Вы отделили эффект от фона?» В большинстве случаев это означало, что группе еще придется поработать со своими данными. Критику высказывали и другие участники, ни один семинар не обходился без вопросов и замечаний; все привыкли к тому, что каждая, даже хорошо проработанная тема требует научного обсуждения. Критерий истинности имел, как теперь принято говорить, высший приоритет. Эксперименты были значительно более компактными по сравнению с современными, так что они просматривались от проекта до конечного результата, во всяком случае, это было под силу столь профессиональному коллективу, как лабораторный семинар или ученый совет.

Напоминание об истинности кажется банальным, ведь в противном случае физика перестает быть наукой о природе. Однако требование истинности в науке в конечном счете не может оставаться незатронутым, если нарушаются глобальные нравственные принципы. Это философское отступление имеет прямое отношение к Бруно Максимовичу. Его влияние в лаборатории именно потому и было столь значительным, что опиралось не только на его общепризнанный научный авторитет, но и на авторитет нравственный.

Особое место занимает отношение Бруно Максимовича к молодежи. Безусловно, что студенты и молодые физики являлись объектом его особого внимания. Помимо текущих бесед Бруно Максимович к концу года обязательно вызывал к себе молодого специалиста. И это не было пустой формальностью. Бруно Максимович спрашивал, чем занимается молодой специалист, очень тактично выяснял, доволен ли он атмосферой в группе, есть ли возможность для продуктивной деятельности и научного роста. В то же время был и спрос: отсутствие личной активности, топтание на одном месте и, не дай Бог, ослабление интереса к науке были бы восприняты очень, очень плохо.

Долгое время Бруно Максимович заведовал кафедрой элементарных частиц филиала физфака МГУ в Дубне. К нам в группу практически каждый год приходили студенты-дипломники. Бруно Максимович постоянно интересовался их деятельностью. Особую, без преувеличения отеческую заботу проявлял Бруно Максимович в вопросе об устройстве выпускников на работу. Наверное, бывали какие-то неприятности и молодой специалист не был удовлетворен своей судьбой, но нам доподлинно известно, сколько сил и времени тратил Бруно Максимович, когда речь заходила о распределении на работу выпускников его кафедры и особенно в тех случаях, когда какие-либо привходящие обстоятельства осложняли ситуацию.

*Излюбленная форма вежливости, а иногда и искренней самокритики.

Будучи человеком мудрым и доброжелательным, Бруно Максимович не любил, когда кому-нибудь скоропалительно приклеивали ярлык «плохой». «Не делайте таких резких границ: белое и черное. Смотрите, вот уже черное посерело, а вот уже и белые пятна появились. Можно порадоваться...»

Но когда надо было сделать принципиальный выбор, Бруно Максимович четко выделял «белое» и боролся с «черным». Не раз вступал он на защиту невиновных и слабых, не жалел своих сил и, когда надо было, доходил до очень больших верхов.

Его способность почувствовать несправедливость, ложь была поразительной. Можно сказать, что Бруно Максимович обладал абсолютным нравственным слухом. Подобно талантливому дирижеру, которому одна фальшивая нота в оркестре больно режет слух и заставляет повторять репетицию, Бруно Максимович не только регистрировал любую фальшь, неэтичность, а тем более злобу или несправедливость, но и реагировал самым активным образом. Щедро растрачивал он свои душевные силы, не перекладывая эту работу на плечи других. Видимо, Бог, наградив его даром сострадательности, подарил ему и очень большой запас стойкости, так как в отношении сочувствия Бруно Максимович оставался верен себе до самых последних дней.

22 августа 1993 г. Бруно Максимовичу исполнялось 80 лет. Он был в Италии, и в лаборатории не готовились к юбилею, отложив празднество на осень, когда все будут в сборе. И вдруг, совершенно неожиданно, Бруно Максимович возвращается в Дубну — настолько неожиданно, что только благодаря стараниям директора ОИЯИ за ним успели выслать машину. Теперь мы понимаем, что неожиданностью это было только для нас, а для Бруно Максимовича это был глубоко обдуманный поступок, его последнее решение.

Юбилей прошел в неофициальной обстановке. И это было тем более замечательно, что Бруно Максимович не любил, можно сказать, физиологически не переносил официальных торжеств по своему поводу. В преддверии одного из юбилеев он даже пригрозил, что застрелится, если будет устроено что-то официальное.

Несмотря на отпускное время, в кабинете Венедикта Петровича собралось много народа. Теплые, сердечные слова в адрес юбиляра были сказаны директором ОИЯИ Владимиром Георгиевичем Кадышевским, вице-директором Алексеем Норайровичем Сисакяном. Выступили директора всех лабораторий, и каждый нашел для Бруно Максимовича что-то особенно интересное и приятное. Практически все присутствующие так или иначе выразили свою любовь и благодарность. Бруно Максимович сидел на почетном месте с Марианной и детьми. Кажется, в первый раз его семья присутствовала на подобном торжестве в лаборатории и, кажется, в первый раз Бруно Максимович выслушивал почти без смущения обращенные к нему слова любви и признательности.

Юбилей прошел замечательно, в прямом смысле в атмосфере любви, уважения и приличествующей доли юмора. Бруно *любили*, и это им было воспринято.

24 сентября 1993 г. Бруно Максимовича на стало. Говорят, что находясь в реанимации, Бруно Максимович на мгновение пришел в сознание, посмотрел на

хлопотавших вокруг него врачей и сказал «спасибо». Таким было его последнее слово. И в этом — истина о Бруно.

Замечательно, что Бруно жил долго. Он успел оставить большое научное наследие, глубокий след в душах людей. Уверена, что для многих молодых людей он послужил примером высокой нравственности, оказал на них влияние, может быть даже ими незамеченное. Надо надеяться, что ниточка эта потянется дальше и будет бесконечно длинной.

Стандартная фраза «Навсегда останется в наших сердцах...» в случае Бруно Максимовича несет не только конкретную истину — да, светлый образ Бруно Понтекорво безусловно останется в памяти знавших его, — но и имеет глубокий философский смысл. Он останется в миру как носитель Добра и Прекрасного, как квант этих полей.

Глубоко благодарна судьбе, что она осуществила для меня столь малую вероятность оказаться во времени и пространстве поблизости от Бруно Понтекорво. Глубоко благодарна и за то, что Бруно жил долго, долго радовал нас, и я успела повзрослеть и глубже понять и воспринять экстраординарную натуру этого человека.

Спасибо Вам, дорогой Бруно Максимович.

БРУНО МАКСИМОВИЧ, МЮОНЫ И УРАН

Л.Г.Ландсберг

Институт физики высоких энергий, Протвино

Мои первые встречи с Бруно Максимовичем Понтекорво произошли сорок лет тому назад, в 1955 г., в институте, который тогда назывался Институт ядерных проблем АН СССР (ИЯП АН), а сейчас известен всем как Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ (ЛЯП). В этом институте Бруно Максимович возглавлял один из научных секторов, а я бывал там в качестве аспиранта МГУ. На меня с самого начала произвел большое впечатление этот ученый с мировым именем, ученик и сотрудник Э.Ферми, автор многих прекрасных работ и в то же время сравнительно молодой, красивый, обаятельный человек, лишенный малейшей чопорности, абсолютно доступный, готовый говорить на любые научные темы с начинающим юнцом, каким я тогда был. Мой первый разговор с Бруно Максимовичем, сколько я сейчас помню, был связан с обсуждением красивого эффекта Пайса—Пиччиони, связанного с двумя типами нейтральных *K*-мезонов. Мне очень польстило, что через несколько дней после этого разговора Бруно Максимович, встретив меня в коридоре, дружески поздоровался, завел меня к себе в кабинет, продолжил наш первый разговор, а затем стал со мной советоваться по поводу программы научных семинаров по слабым взаимодействиям, которые он хотел тогда организовать. Конечно, теперь я прекрасно понимаю, что ему не были нужны мои советы и он просто хотел подбодрить меня и показать, что видит во мне коллегу. Эта простая демократичная манера общения была очень характерной для Бруно Максимовича. Она проявлялась не только в науке, но и в обычной жизни. Вспоминаю, например, футбольную игру в Дубне, в которой он азартно участвовал в составе команды своего сектора, поездку с ним на машине и многое другое.

Но настоящее тесное общение с Бруно Максимовичем началось для меня в 1958 г., когда группа молодых физиков ИТЭФ, в которую я входил, приступила к экспериментам на мюонном пучке ускорителя ЛЯП. По инициативе Абрама Исааковича Алиханова и под его руководством мы тогда старались определить спиральность мюона в распаде $\pi^- \to \mu^- \bar{\nu}_\mu$, измеряя круговую поляризацию фотонов в радиационных переходах в μ-атомах свинца. С сожалением должен отметить, что наши усилия в этом направлении остались безрезультатными, так как возможная величина эффекта оказалась ниже первоначальных теоретических оценок (из-за более сильной деполяризации мюонов). Однако когда мы только начинали эту работу в ЛЯП, Бруно Максимович, живо интересовавшийся новыми исследованиями, несколько раз разговаривал с нами. Обсуждая предстоящие измерения, он подчеркнул сложности задуманного опыта, дал нам несколько ценных советов, связанных с контрольными измерениями, и спросил, не хотели бы мы на первом этапе провести вместе с ним на нашей установке красивый и более простой опыт по поиску безрадиационных переходов в μ-атомах урана.

© Л.Г.Ландсберг, 1997

Эффект безрадиационных переходов в урановых μ-атомах, предсказанный теоретически в работах Уилера, а затем Зарецкого, заключался в том, что в μ-атомах тяжелых ядер (например, урана) при переходе мюонов с $2P$- на $1S$-уровень выделяющаяся энергия могла с довольно большой вероятностью непосредственно передаваться ядру, имеющему очень высокую плотность ядерных уровней, вместо того, чтобы излучаться в виде мезорентгеновских фотонов, как это происходит, например, в μ-атомах свинца, где плотность ядерных уровней сравнительно мала. Бруно Максимович сразу увидел, что так как энергии мезорентгеновских ($2P$–$1S$)-фотонов в μ-атомах урана и свинца очень близки между собой, то, сравнивая выходы фотонов в этих μ-атомах, можно непосредственно обнаружить эффект безрадиационных переходов в μ-атомах урана, даже если этот эффект и не столь велик, как это оптимистически предсказывал Д.Ф.Зарецкий. Наша аппаратура позволяла это сделать, и мы с радостью ухватились за эту возможность. Абрам Исаакович дал нам «carte blanche», и мы приступили к опытам.

Первые измерения на пучке принесли нам и первые разочарования. Эффект оказался, видимо, не столь уж большим, и аппаратура не обладала достаточной стабильностью для его надежного обнаружения. Бруно Максимович быстро нашел выход из этого положения, раздобыв редкий в то время прибор — многоканальный амплитудный анализатор, позволяющий более надежно измерять мезорентгеновские спектры на нашем γ-спектрометре с кристаллом NaJ. Он уверил нас, что это сразу позволит сделать значительный шаг вперед. И в самом деле, с этой усовершенствованной аппаратурой в первую же ночь на ускорителе мы получили очень четкий результат, показавший, что безрадиационные переходы в μ-атомах урана действительно происходят, хотя вероятность этих переходов оказалась заметно ниже, чем это можно было ожидать из теоретических оценок. Мы очень радовались этому первому для нас «ускорительному» результату. Бруно Максимович радовался не меньше нас и со свойственным ему юмором предсказывал реакцию теоретиков.

В дальнейшем аппаратура была усовершенствована. Для подавления фона от электронов в пучке был применен разработанный в ИТЭФ газовый черенковский счетчик, явившийся первым рабочим прибором такого типа у нас в стране и оказавшийся весьма эффективным. Бруно Максимович очень интересовался новым прибором и был вполне удовлетворен резким снижением фона, достигнутым с его помощью. На модернизированной установке были изучены безрадиационные переходы в ряде тяжелых μ-атомов. Впоследствии этот цикл работ был зарегистрирован как «научное открытие №100».

Я получил для себя огромную пользу от общения с Бруно Максимовичем в процессе этого сотрудничества, увидев на практике, как важно выбрать правильную методику измерений, которая должна предельно уменьшить возможные погрешности, учесть все необходимые поправки, надежно оценить точность полученных результатов и затем четко изложить все это в статье.

Вспоминаю также забавный эпизод, произошедший во время одного из основных измерительных сеансов. Радиационный источник, который мы использовали для предварительной калибровки γ-спектрометра, неосторожно поднесенный мною довольно близко к магниту мюонного канала, внезапно вырвался из рук и

влетел в магнит. У нас возникла легкая паника, связанная с опасением, что ампула с источником могла быть при этом повреждена, и появлялась опасность радиоактивного загрязнения. Началось, конечно, и выяснение стандартного вопроса, кто виноват: человек, подошедший с источником слишком близко к магниту (т.е. я), или человек, привезший, вопреки инструкциям по технике безопасности, источник в железном кожухе (т.е. М.Я.Балац). Бруно Максимович быстро положил этому конец, сказав, что сейчас надо отложить источник в безопасное место, забыть про него на время и скорее начать измерения, а потом уже выяснять все остальные вопросы. Это и было сделано. Когда установка была запущена и измерения начались, мы разобрали кожух и установили, что ничего страшного не произошло и ампула источника не пострадала. Все это сопровождалось шутливыми комментариями Бруно Максимовича, который не уходил домой, пока сам не убедился, что все в порядке и никакой опасности нет.

* * *

Эта заметка была написана в начале лета 1993 г., еще при жизни Бруно Максимовича, и предназначалась для буклета, который предполагалось издать в ОИЯИ к его 80-летию. Отправив ее в ЛЯП и написав Бруно Максимовичу поздравительное письмо в связи с предстоящим юбилеем, я уехал на несколько месяцев в командировку в Фермилаб (США), и туда пришло горестное известие о его кончине...

И вот, перечитывая заметку сейчас и подготавливая ее, к сожалению, уже для книги воспоминаний о Бруно Максимовиче, я почти не стал ничего менять. Мне только захотелось вспомнить еще раз многочисленные встречи и разговоры с Бруно Максимовичем, всегда очень интересные и полезные. Для меня было важным обсудить с ним планы будущих экспериментов, рассказать ему о полученных результатах, услышать его советы и замечания, в которых чувствовались неподдельный интерес к физике, доброжелательность к собеседнику, стремление помочь.

Останутся также воспоминания о веселых розыгрышах и шутках, непревзойденным мастером которых всегда был Бруно Максимович. Не могу не вспомнить о поездке вместе с ним на Алагезскую станцию космических лучей, — кажется, это было в 1960 г., после одной из научных конференций в Ереване. Для меня это была первая в жизни поездка в горы. Помню, как Бруно Максимович опекал меня во время моей безумной попытки новичка подняться на лыжах вместе с ним и другими опытными горнолыжниками на южную вершину Алагеза. К счастью, все завершилось благополучно — во многом благодаря Бруно Максимовичу. И был еще чудесный вечер на станции, когда Бруно Максимович и Аркадий Бенедиктович Мигдал до поздней ночи рассказывали нам великолепные истории. Сейчас уже нет ни Бруно Максимовича, ни Аркадия Бенедиктовича, ни многих других участников этой поездки. И вспоминать ее мне и грустно, и в то же время приятно, как дни молодости, как дни общения с прекрасными людьми, которых, увы, становится все меньше и меньше...

КРАСИВОЕ ИМЯ — УДИВИТЕЛЬНЫЙ ЧЕЛОВЕК: ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ Б.М.ПОНТЕКОРВО

А.Н.Сисакян

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Когда, еще будучи школьником, я услышал имя этого человека — Бруно Понтекорво! — оно поразило своей необычной звучностью, каким-то страстным порывом... Такое имя могло принадлежать только темпераментному, отважному и талантливому человеку.

Ореол таинственности и легенды окружал это имя... О Бруно Максимовиче очень мало писали, и мало о нем знали школьники и студенты моего поколения.

Знали только, что работает в Дубне «секретный профессор», ученик великого Э.Ферми, который по идейным мотивам решил переехать со всей семьей в Советский Союз. Немного позже он удостаивается самых престижных премий за исследования в области физики нейтрино, становится членом Академии наук СССР, еще позже начинают появляться статьи о нем и интервью с ним.

В студенческие годы мне посчастливилось впервые столкнуться и познакомиться с Бруно Максимовичем Понтекорво в достаточно необычной обстановке...

Это было в апреле 1966 г. в крымском санатории «Парус», где проходила школа по физике элементарных частиц. Первая для моих друзей Вити Саврина, Миши Савельева (ныне известные физики-теоретики) и для меня «взрослая» научная школа. Мы были дипломниками, и участвовать в такой престижной школе для нас было и большим счастьем, и довольно трудной работой.

В первый же выходной день на школе мы с ребятами отправились на море купаться, но вода была очень холодная (12—14 °С), и купание заключалось лишь в том, что мы стремительно вбегали и выбегали из воды, а потом сидели на камушках и смотрели на море.

Вдруг из моря из-за скалы появились две фигуры с аквалангами, с подводными ружьями и в ластах. Это произошло как раз в тот момент, когда Витя Саврин у самого берега поймал буквально за хвост большую рыбину, которую волной ударило о камень.

И вот мы стоим и разглядываем рыбину, а из моря появляются два «подводных» охотника без какой-либо добычи.

«Ошень большую рыбу ви поймали...» — сказал с сильным акцентом один из аквалангистов. И это был Бруно Максимович, которого мы сразу узнали, так как он читал лекции дубненской группе студентов и время от времени появлялся на физфаке в Москве. Вторым аквалангистом был Алексей Алексеевич Тяпкин.

Б.М. не знал, что рыба была схвачена только потому, что волна ударила ее о камень, и очень поэтому удивлялся, как нам удалось руками, у берега поймать такую рыбину. Мы старательно подыгрывали этому заблуждению, но, будучи разоблаченными, пригласили Бруно Максимовича отведать уху из этой рыбы и неожиданно получили согласие.

© А.Н.Сисакян, 1997

Готовить рыбу пришлось мне, так как Миша и Витя обладали меньшим опытом в кулинарии. Рыба была такая большая, что удалось сразу приготовить и уху, и жаркое. Миша был размещен оргкомитетом на квартире, так как санаторных номеров на всех многочисленных участников не хватило, и это обстоятельство помогло проще справиться с поставленной задачей, так как в нашем распоряжении была неплохая кухня.

Помню сейчас, что Бруно Максимович пришел совсем ненадолго, но был очень прост, демократичен и много шутил и смеялся. А для нас это было почти фантастическое событие — ужинать со знаменитым Бруно Понтекорво. Это первое яркое воспоминание, которое хранит память.

А потом были многие и многие годы знакомства с Бруно Максимовичем и его замечательной семьей.

В Дубне семья Понтекорво жила в коттедже по соседству с семьей Николая Николаевича Боголюбова, крупнейшего ученого и замечательного человека. Он был моим учителем, и мне часто приходилось бывать у него дома. Понтекорво и Боголюбов всегда относились друг к другу с большим уважением и теплотой.

Сыновья Понтекорво — Джиль, Тито, Антонио — как будто бы каждый посвоему унаследовали ум и красоту своего великого отца.

Увлеченность Тито коневодством, его безусловный и редкий талант организатора стали целым явлением в жизни нашего города. Джиль сочетает в себе талант ученого-физика с прекрасным профессиональным владением иностранными языками. Антонио живет в основном в Москве, но всегда радуют отзывы его друзей о нем как о добром и способном человеке.

В дубненской жизни к образу Бруно Максимовича добавлялись новые, порой анекдотические черточки. Анекдоты рассказывают, как правило, про тех, кого любят...

«По Дубне ходят шлюхи...» — иногда начинал с улыбкой свой рассказ Понтекорво. И можно было только догадываться, что имелось в виду: наверное, просто с акцентом сказал слово «слухи».

Бруно Максимович был всегда очень темпераментен на семинарах, конференциях, любых обсуждениях научных проблем.

К людям, достойным самой жесткой критики, он, как правило, применял термин «он не гений...». О, это очень много значило в его устах! Этот термин до сих пор живет и используется в Дубне.

Сегодня о той роли, которую сыграл Б.М.Понтекорво в науке, особенно в физике нейтрино, широко известно и много написано. Думаю, что нам никогда не удастся до конца проникнуть в тайну его переезда в Советский Союз. Появляющиеся в последнее время воспоминания об этом периоде противоречивы и по понятным причинам субъективны. Его звучное научное имя принадлежит сегодня и Италии, и России... и всей мировой науке.

Бруно Максимович, безусловно, был красивой и талантливой личностью, которая влияла на всех окружающих людей.

Помню, как в шестидесятые годы (когда Бруно Максимович не мог ездить на родину, в Италию) во время Московского кинофестиваля он впервые за долгие годы встретился со своим братом — известным кинорежиссером. При огромном

стечении народа Бруно Максимович, очень бурно жестикулируя, буквально поднял весь зал — приветствовать овацией историческую встречу двух выдающихся братьев.

Он очень радовался, что в последние годы имел возможность часто посещать сестру, братьев, общаться и работать с итальянскими коллегами, давать интервью итальянским журналистам. Но какая горечь и боль звучали в его голосе, когда однажды он позвонил мне в Дубну из Рима, чтобы опровергнуть информацию одного из журналистов, что академик Б.М.Понтекорво навсегда покинул «вторую родину»... «Я напишу опровержение», — сказал он, но опровержение внесла сама жизнь.

Довольно скоро после этого он вернулся в Дубну и внезапно умер, вскоре после того, как отпраздновал свой 80-летний юбилей в стенах родного ему Объединенного института, в Лаборатории ядерных проблем. Все восприняли его уход как внезапное и несправедливое событие, несмотря на болезнь, которая его преследовала последние годы. Ведь он умел оставаться оптимистом, несмотря на эту болезнь, веселиться с друзьями на вечеринках, «без рук» ездить на велосипеде, рассказывать смешные истории («Много ли “ноль” для охоты на африканских тигров? Для африканских тигров — достаточно...»), оставаться оптимистичным, принципиальным и требовательным в науке (хотя уже наступили не самые светлые годы в российской науке).

За два дня до ухода его из жизни он пришел на НТС ОИЯИ, несмотря на плохое самочувствие, отказался от машины, чтобы его отвезли домой. Задержался на несколько минут в зале, а на мой вопрос: «Как себя чувствуете, Бруно Максимович?» — ответил: «Все нормально. Не беспокойтесь. Идите, ведь в институте так много дел...» И как-то грустно улыбнулся.

Вся Дубна прощалась с Бруно Максимовичем. И не только научная Дубна, но и две его большие родины, Италия и Россия, склонили головы в память об удивительно ярком человеке с таким звучным красивым именем.

В Дубне в новом микрорайоне по соседству расположились два новых проспекта — Боголюбова и Понтекорво. Новые поколения физиков пройдут сегодня и завтра по этим широким магистралям...

«СУДЬБА СВОИ ДАРЫ ЯВИТЬ ЖЕЛАЛА В НЕМ...»*

И.Г.Покровская

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

— Доброе утро, Айрина Григоре́вна, какие новости?

Без малого сорок лет с этого телефонного приветствия начинался мой рабочий день.

Долгое время Бруно Максимович произносил мое имя на английский манер, пока не заметил, что сказать «Ирина» просто по-русски гораздо легче. И возмутился шутливо: «Опять Вы меня не поправляете! Сколько лет я ломаю себе язык, когда можно сказать так просто! Учтите, это Вы виноваты в том, что я плохо говорю по-русски: Вы научились хорошо меня понимать и никогда не поправляете».

По записной книжке Б.М. мы уточняем распорядок его дня. Я знаю: если его планы изменятся, он непременно меня найдет, чтобы предупредить об этом. Он очень пунктуален в отношениях с людьми и высоко ценит чужое время.

Карманная записная книжечка, подаренная кем-то Бруно Максимовичу, была рассчитана на два года и очень ему нравилась этой своей особенностью, позволяющей сравнивать записи. Он носил ее при себе и регулярно бисерным почерком по-итальянски в колонке под соответствующим числом вел записи о текущих делах, событиях, впечатлениях. Получилось вроде дневничка. Когда книжечки исчезли из продажи в Москве, нам привозили их из Ленинграда, а потом мы стали делать их сами. Б.М. вел эти записи практически до последних дней...

Вскоре после звонка в лаборатории появляется и сам Бруно Максимович — всегда элегантный, приветливо улыбающийся своими мягкими итальянскими глазами. В раннем возрасте, рассказывал Б.М., он подслушал разговор родителей, обсуждавших достоинства своих детей. О себе он услышал следующее: «Самый ограниченный. Глаза добрые, но не умные».

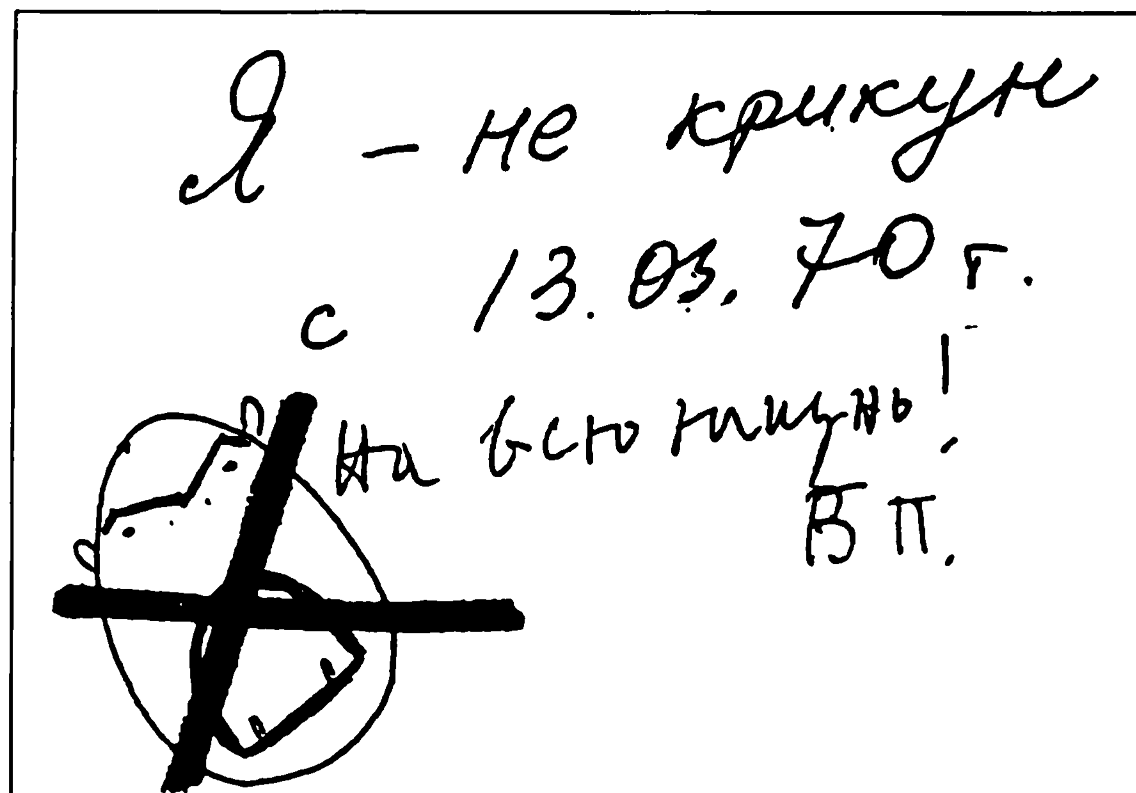
Бруно Максимович расстроен: «Я сегодня опять кричал», — говорит он. Уже знаю об этом. Мне позвонили из служб административного корпуса, куда он заходил по пути в лабораторию, и рассказали, что Б.М. сердился и они не поняли, чего он хотел. Как правило, он хотел, чтобы письмо, пришедшее на его имя, которое он ждал, было доставлено ему немедленно, а не через два дня.

Бруно Максимович был нетерпим к проявлению техническим персоналом небрежности, нетактичности и необязательности в работе. Мог вспылить и даже накричать. Всегда по делу. И всегда огорчался потом и переживал, что не сумел сдержаться. Но поводов было достаточно. В моей картотеке сохранилась карточка, на которой я когда-то нарисовала орущую рожицу, перечеркнула ее жирно

* А.С.Пушкин. К портрету Вяземского.

© И.Г.Покровская, 1997

крест-накрест и написала: «Я — не крикун!» Бруно Максимович добавил: «На всю жизнь!» И поставил свои инициалы. Вот она:



Когда в моем присутствии атмосфера начинала накаляться, я доставала эту карточку и помахивала ею в воздухе. И Б.М. улыбался. С годами он становился все снисходительней и сердился реже и реже, а только огорчался...

— Когда у Вас будет свободное время, — говорит Б.М., — мы напишем короткое письмо.

Именно когда у меня будет свободное время. То же самое было с Владимиром Иосифовичем Векслером. Мне довелось несколько раз работать с ним в отсутствие его стенографистки. Он звонил из своей лаборатории и «подстраивался» под мое свободное время, чтобы приехать поработать со мной. Особая порода людей.

Все годы мне задают один и тот же вопрос: «Скажите, как Вы с Бруно Максимовичем пишете научные статьи? Вы — не физик, он не владеет русским языком... А получается?!» И смотрят на меня пронзительно.

Что я не физик — это точно. Еще какой нефизик! В детстве, по традиции нашей семьи, собиралась стать актрисой и с физикой не только в ладах не была, а прямо заявила однажды учителю, что учить ее не буду, так как она мне никогда не пригодится. «Как знать», — сказал он мне тогда. И как в воду глядел. Сорок лет живу я и работаю среди физиков и ничуть об этом не жалею.

Как мы работаем? А очень просто. Сидим мы с Бруно Максимовичем за моим рабочим столом в нашей всем знакомой приемной, друг против друга. Между нами два телефона, два «бультерьера» разного окраса на поводках. В приемной три двери. Телефоны трезвонят, двери хлопают непрестанно: дзынь-хлоп, дзынь-хлоп... Нормальная рабочая обстановка. Ничуть не мешает. Каждую минуту в приемную кто-то входит, и мы мгновенно, без всяких затруднений переключаемся на проблемы вошедшего. Мы любопытны и доброжелательны. Обязательно вовлекаем присутствующих в дискуссию о том, какое именно слово в данном контексте было бы правильнее всего употребить. Если подходящего выражения ни у кого не находится, намечаем «жертву» и звоним ей по телефону.

Пишем пофразно, каждую фразу шлифуем окончательно и только тогда переходим к следующей. Это процесс более длительный, но зато и более интересный. Он позволяет потом практически не возвращаться к написанному. Мы пришли к такому варианту как к наилучшему во время работы над изданием научных трудов Энрико Ферми в 70-х годах. Это была большая работа. Она заняла у нас несколько лет.

Итак, Бруно Максимович произносит первую фразу. Конечно же, я не понимаю НИ-ЧЕ-ГО. Он прекрасно это знает и терпеливо, подробно и доступно объясняет суть дела. Он говорит: «Если Вы не понимаете, это значит, я плохо сказал. Объяснить популярно можно любую проблему, какой бы трудной она ни была». Сижу и слушаю. Иногда задаю вопросы. Часто разговор уходит далеко в сторону... Как я люблю эти минуты! Как благодарна судьбе за них!

Наконец, мы возвращаемся к нашей фразе.

— Понятно? — спрашивает Б.М.

— Понятно, — отвечаю тоскливо.

— Тогда давайте, — говорит он и носком ботинка выбивает под столом «барабанную дробь» нетерпения.

Знаю, знаю — пустого времени Бруно Максимович не любит, и торопливо извлекаю из себя интуитивную группу отдельных слов. Как коршун, стремительно налетает он на это «стадо», выхватывает из него ОДНО нужное ему слово, добавляет к нему все остальные и выстреливает ими в меня.

О, писать быстро я умею! Секунда — и фраза на бумаге!

— Браво, — говорит Бруно Максимович. — Вы замечательный физицист!

И мы переходим к следующей фразе.

Летом последнего года его жизни я спросила Бруно Максимовича, как он объясняет тот факт, что писать совместно нам было легко уже с самого начала. Первая публикация в «УФН» в 1955 г., написанная с моей помощью, вышла через четыре месяца после моего появления в лаборатории. И он сказал: «Мы одинаково думаем».

На самом деле русский язык Бруно Максимович освоил быстро и знал превосходно. Безошибочно чувствовал смысловые оттенки и всегда выбирал самые точные и самые красивые русские слова и выражения. Но в разговорной речи не утруждался. (Разумеется, я не имею в виду научные разговоры.) Падежности не соблюдал, мог поменять местами или вовсе опустить слоги, произнести первую часть слова правильно, а вторую — как получится, заменял слова схожими, но — так уж выходило! — более комичными по звучанию.

Когда мы работали над воспоминаниями о Э.Ферми, Б.М. продиктовал такую фразу: «Так, без *печки*, Ферми работал всю зиму...» Я записала, недоумевая, зачем ему понадобилось вставлять ее в строгий физический текст, но тут же решила, что Б.М. хочет попутно отметить «героизм» Ферми, работавшего в суровых условиях. Когда все выяснилось и пресловутая «печка» уступила место законному слову «спешка», мы долго смеялись. Эта его манера «играть словами» всегда оставляла впечатление, что он делает это нарочно. Помню, как однажды вместо слова «паук» Б.М. сотворил забавное слово «упук». Очень оно нам понравилось, и в дальнейшем мы часто употребляли его в самых разных ситуациях. Вот какую

записку нашли мы однажды на стекле своей автомашины, оставленной на обочине дороги вблизи Фороса в Крыму, где любили бывать во время отпуска.

Гражуане!
Номер получите
в отуеление
милиуии
2 этажо в поне
уельник 29 сентября
Отвественный
Испектор ГАИ
Выклонкин
Уиук Флорентович
26-IX-75

Мы сразу поняли, что Б.М. в Крыму и скоро появится в гости с грандиозными планами подводной охоты.

Я родилась и выросла у Черного моря. С детства хорошо плаваю под водой на дальность и глубину, но сказочную красоту подводного мира по-настоящему узнала только в 60-х годах, когда Б.М. подарил мне маску и ласты — уникальное по тем временам в нашей стране подводное снаряжение.

Бруно Максимовича называли отцом (а с возрастом дружески — дедушкой) подводного спорта Советского Союза. Подводной охотой он увлекался до 80-х годов, и не только на Черном море. Был с экспедицией на Тихом океане, в Подмосковье знал все речки с прозрачной водой. У него был гидрокостюм «Калипсо», ласты и маски нескольких типов и масса всякого подводного снаряжения: специальный пояс с регулируемым грузилом, нож для акулы, подводный фонарь, сетка для рыбы, множество разноцветных плотно упакованных пакетиков, прикрепляющихся к поясу, на которые при возникновении опасности на глубине следовало слегка нажать, и они должны были раздуться в большие пузыри и вытолкнуть пловца на поверхность (попытки убедиться в этом никогда не имели успеха). И, конечно, большое количество подводных ружей и пик с самыми разнообразными наконечниками.

Ритуал надевания всего этого на себя происходил медленно и торжественно. Сначала все снаряжение, разноцветное и сверкающее на солнце, раскладывалось на берегу в порядке очередности. Тотчас же место действия брали в кольцо любопытствующие всех возрастов. Усаживались на корточки, и открывалась дискус-

сия. Все разрешалось потрогать, примерить... Однажды после таких «смотрин» исчезло миниатюрное действующее подводное ружье, искусно изготовленное в наших лабораторных мастерских, с монограммой — подарок к 50-летнему юбилею. Б.М. огорчился всего на минуту, а потом весело поздравил местных пацанов с хорошим приобретением.

Каждый раз серьезно обсуждалось: надевать «Калипсо» целиком или только часть, какой закрепить на стрелу наконечник, брать или не брать с собой тот или иной предмет... И, наконец, «в случае чего» бралось с собой все, и обязательно любимый двухметровый трезубец. Облачение заканчивалось, Б.М. тяжело вздыхал и шел в воду, сопровождаемый восторженными взглядами. Начиналась большая игра в подводную охоту. Улов не имел особого значения, а его частое отсутствие совсем не огорчало Б.М. Но были и неслыханные удачи, например, знаменитые два белых горбыля, пронзенные одним выстрелом у прибрежных скал Гурзуфа, — событие, о котором местные рыболовы вспоминали несколько лет.

Осенью, когда прохладная вода в водоемах больше не манила, с тем же азартом переключался Бруно Максимович на грибную охоту. Особенно любил собирать шампиньоны, что было менее сложно, надо было только правильно вычислить поле. Ездили несколькими машинами. Б.М. надевал сванскую шапочку и брал с собой две-три внушительные корзины и несколько поменьше. И случалось-таки всем им быть наполненными до краев!

Вечером за большим овальным столом гостинной комнаты коттеджа Б.М. устраивалось грибное пиршество. И разговор неизменно возвращался к воспоминаниям о том, что раньше в Италии грибов не ели вовсе, так как считалось, что все они ядовитые. «Жаль мне этих бедных итальянцев», — говорил Б.М., наслаждаясь ароматным блюдом.

Если с грибами не повезло — под надзором хозяина дома готовили спагетти, строго соблюдая требование: «Соус не должен быть вкуснее макарон!» Из огромной кастрюли раскладывал спагетти по тарелкам сам Б.М. И, конечно, как мы ни старались, не было у него соперников в изящном искусстве владения вилкой при их поглощении.

Бруно Максимович любил быть среди людей, он был очень доброжелательным и очень приветливым человеком. Никого не поучал и мнения своего не навязывал, хотя убедить стремился, и не без настойчивости. Однако чаще всего терпеливо выслушает, посмотрит долгим взглядом и скажет: «Вероятно, Вы правы». Красноречивым оратором, раскованным, свободно водящим аудиторию по лабиринтам своих воспоминаний и размышлений, не был никогда, даже в поздние годы. Речь его была немногословной, чистой, а суждения так интересны и оригинальны и выражены так ясно, конкретно и в такой благородной манере, что беседа с ним была подлинным наслаждением. На вопросы отвечал всегда.

Был Бруно Максимович человеком очень скромным, а из малого, чем позволял себе гордиться (да и то молча!), был мускул на правой руке — результат его огромной любви к теннису в юности. Такого здесь не видал никто! Он был исполинских размеров и такой твердый, что, казалось, жил на руке собственной величавой жизнью. Когда Б.М. напрягал руку, а мы почтительно тыкали в мускул

пальцем, казалось, что мы прикасаемся к булыжнику. И глаза Б.М. лукаво блестели. С годами мускул стал опадать и затем исчез совсем.

Вскоре после организации ОИЯИ Дубна «открылась», и бурным потоком хлынули в нее толпы, группы и одиночки кино-, фото- и радиоработников, журналисты, писатели, художники — именитые и не очень. Они сидели на семинарах, присутствовали на сеансах на ускорителях, рисовали, фотографировали, брали интервью и во все глаза глядели на этих «таинственных» физиков. И, конечно, все искали встречи со знаменитым Понтекорво. Помню, какое огромное впечатление производил на меня неизменно категорический отказ Б.М.: «Извините, у меня принцип: я не даю интервью». Или: «Портрет при жизни? Никогда!» Находясь под волшебным обаянием личности, теми же словами ответила и я художнику, предложившему написать мой портрет. Теперь смешно и жалко.

Примерно в то же время бушевали по Москве поэтические диспуты. И в Дубне встречи с известными поэтами собирали огромную аудиторию. Физики и лирики состязались в остроумии, «оспаривая превосходство».

Широкая любовь к поэзии вызывала у Бруно Максимовича восхищение. Он говорил, что нигде не видел такого увлечения стихами, как в России. Сетовал, что не всегда понимает стихи. И бурно радовался умению многих сочинять стихи и стихотворные послания по случаю.

Однажды он пришел на работу с листком бумаги в руках и сказал, что будем писать юбилейное поздравление в стихах, а начало он уже сочинил:

Пусть иные говорят —
Многовато пятьдесят!
Мне поверь, что с этих лет
Лишь начнется твой расцвет!

По-видимому, это было единственное поэтическое произведение Бруно Максимовича, написанное им самим. Чем он, не скрывая, гордился.

Начало этого стихотворения стало у нас дежурным. Мы использовали его в подходящих случаях, изменяя при необходимости цифру. Дальнейшее же содержание стиха всегда было строго индивидуальным.

Поэтическим азартом мы были охвачены довольно долго и даже пытались разговаривать стихами.

Много позже, когда Б.М. уже начал болеть, московские друзья уговорили его воспользоваться услугами известной целительницы Джуны. После нескольких сеансов он вернулся в Дубну.

— Знаете, — сказал он, явно стесняясь, — а массаж был очень хорош...

И мы тут же сочинили маленький стишок:

Синьора Джуна лечит Бруно?
Ах, какой анекдот!
Повезет — не повезет?

Не повезло...

В обыденной жизни любил Бруно Максимович озорничать. Дня не проходило без проказ. Существует много воспоминаний о его шутках и розыгрышах, которые всегда ему удавались. Помню первую шутку со мной. В самом начале моей работы в Дубне Б.М. предложил однажды подвезти меня на обеденный перерыв

на своем велосипеде. Я села на багажник, и мы тронулись. Все шло нормально до тех пор, пока навстречу нам не попадалось знакомое лицо. Тут Б.М. припадал к рулю, стонал, с трудом ворочал колеса, заваливал велосипед набок, тер лоб носовым платком — словом, всячески давал понять, что «поклажа» слишком тяжела. Как только по изумленному выражению лица прохожего Б.М. убеждался, что эффект достигнут, мы начинали передвигаться нормально. При новой встрече все повторялось. Я была очень застенчива в ту пору и, пунцовая от смущения, тряслась на багажнике через весь город.

Уже в солидном возрасте, в 80-х годах, узнав, что моя пятилетняя дочь посетила два занятия английским языком, Б.М. тотчас позвонил ей по телефону «прямо из Америки» и, назвавшись американским мальчиком, стал оживленно на английском языке о чем-то расспрашивать оцепеневшую кроху.

Мне кажется, что Бруно Максимович был самым жизнерадостным из всех опечаленных людей на свете.

Летом 1978 г., впервые после 28-летнего перерыва, Бруно Максимович возвратился в Италию. Всего на несколько дней. С тех пор он посещал родину часто, а в последние годы проводил там длительное время. Он был переполнен впечатлениями о новой для себя Италии, которую покинул страной бедной, а вновь увидел страной процветающей. Особенно восторженно говорил о посещении многочисленных старинных маленьких городков, сохранивших свой средневековый облик, которые он очень полюбил и которые раньше не знал вовсе.

Встречали Бруно Максимовича с неизменным почетом. Он читал лекции студентам, участвовал в работе конференций и совещаний.

* * *

Господи, как не хочется приближаться к неизбежно печальному завершению моего малого повествования! Но несколько слов.

Первые признаки болезни Паркинсона дали о себе знать как раз по возвращении Бруно Максимовича из Италии в 1978 г. И с тех пор болезнь прогрессировала неустанно. И только благодаря мужеству Бруно Максимовича, боровшегося с ней практически один на один до самого конца, не поддаваясь отчаянию (во всяком случае, никогда на людях), несмотря на мучительное, порой беспомощное состояние, только благодаря его огромной силе воли и духа, он жил среди нас еще 15 лет.

Последний раз Бруно Максимович возвратился из Италии в конце июля 1993 г. Мы ждали и готовились к его 80-летнему юбилею, который состоялся 22 августа, в день рождения, в лаборатории — многолюдно, торжественно, с искренней любовью и уважением.

А уже в первых числах сентября, как-то в один день, в облике Бруно Максимовича явственно проступила необратимая зловещая тень. Первым все понял он сам. Он приходил еще несколько раз в лабораторию. Был молчалив, спокоен и очень печален. Говорил, что никому не хочет мешать. Впрочем, это он повторял и всю жизнь.

За два дня до смерти Бруно Максимович пришел в лабораторию к вечеру. Попрощаться. Была золотая осень, он смотрел в окно на желтые березы. «Какая красота», — сказал грустно. Потом я провожала его до проходной, где ждал сын Тито, и мы шутили по дороге. А через два дня его не стало.

В день похорон, 29 сентября, валил хлопьями мокрый снег и ледяной ветер свирепствовал в кронах деревьев, пронизывал до костей. Природа плакала или возмущалась... Рано утром в Доме культуры убирали траурный зал. Драпировали люстру. Еще не было цветов. И все валилось из рук. Привезли Бруно Максимовича... Постепенно стали собираться люди. Звучал Моцарт, произносили слова...

Прощайте, дорогой Бруно Максимович — целая эпоха в науке, жизни многих людей и в моей судьбе!

ВОСПОМИНАНИЯ О БРУНО

В.Б.Флягин

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Среди обыденной суеты быстротекущей жизни не замечаешь тех огромных изменений, которые накопились за 45 лет работы в Дубне. Для того чтобы понять всю грандиозность перемен, нужно отрешиться от повседневности и оглянуться назад. И тогда легко убедишься: ничего, почти ничего не осталось без изменений. Бывший поселок и деревня Ново-Иваньково стали единым городом. Гидротехническая лаборатория, куда приехал в 1951 г., превратилась в ЛЯП ОИЯИ. Поразительно изменилась наша наука. Даже в небе зажигаются новые звезды. Разве что извечные законы сохранения, открытые еще великим Ломоносовым, да трели соловья в ближайшей роще остаются прежними... И остается память о дорогих нашему сердцу людях.

Я благодарен судьбе, что встретил на своем жизненном пути замечательного ученого и человека Бруно Максимовича Понтекорво.

Не могу вспомнить точно момента, когда познакомился с ним, это был 51-й или 52-й год. Но совершенно определенно помню, как он настойчиво требовал называть его просто Бруно и никак иначе. Это так по-итальянски и вообще так для него характерно, что в память об этом я продолжаю для себя так его и называть. Только после долгих лет, проведенных в России, кто-то сломил его сопротивление и уговорил согласиться с русской традицией обращения по имени-отчеству. При воспоминании о Бруно в те далекие годы первой в памяти всплывает его улыбка. Кажется, более доброжелательного и просто доброго лица я не встречал.

Вспоминаются единственные тогда в поселке телохранители, постоянно его сопровождавшие. Ему определенно не нравилось это сопровождение, и однажды он даже пытался оторваться от них на беговых лыжах. На какое-то время ему это удалось, но в конце концов он сжалился над не совсем спортивной охраной. Это были шуточки в духе Бруно. Он обладал редкостным раскованным характером, постоянно шутил и устраивал всяческие мистификации. С ним было удивительно легко, так как он был прост со всеми и умел создавать иллюзию равенства во время любого разговора.

Пятидесятые годы — это незабываемое время беспредельного энтузиазма. Все физики-экспериментаторы лаборатории включились в самые первые опыты на крупнейшем тогда в мире ускорителе — синхроциклотроне на энергию 500 МэВ, а затем, после рекордно быстрой реконструкции, длившейся всего один год, — на 680 МэВ. Я зрительно хорошо представляю Бруно вместе с Г.И.Селивановым, в пристройке первого корпуса колдующих над сложной установкой, представляющей собой два больших «слоеных пирога» с начинкой из счетчиков Гейгера. Они ставили тогда на нашем ускорителе первый эксперимент по рождению нейтральных мезонов нейтронами. Впоследствии и я с товарищами много занимался этой проблемой.

Самым сложным по постановке и потому хорошо запомнившимся нашим опытом ранней поры была проверка закона сохранения полного изотопспина в

© В.Б.Флягин, 1997

реакции образования дейтрона и нейтрального π-мезона при столкновении нейтрона с протоном. Так редко бывает, но в этом случае после обработки результатов измерений мы сразу же получили окончательные данные, в которые не потребовалось вносить никаких изменений. Делали этот эксперимент В.П.Джелепов, В.С.Киселев, К.О.Оганесян и автор этих строк. Именно на этот эксперимент ссылается Бруно в своем рекомендательном письме, которое он дал мне в феврале 93-го в оригинальной форме с надписью: «Тому, кого это может касаться». Оригинал этого письма я храню как дорогую для меня реликвию.

Общая творческая атмосфера тех лет определялась не только энтузиазмом экспериментаторов, но и постоянными обсуждениями с молодыми теоретиками, которые работали в том же здании и не были еще выделены в отдельную лабораторию. Советы Понтекорво, физика с большим опытом, были бесценны. Вспоминаются интереснейшие семинары с его участием. Он всегда выступал со своими самыми свежими физическими идеями или сообщениями, полученными им из-за рубежа, и таким образом поддерживал высокий уровень понимания передовых достижений нашей науки в лаборатории и в Объединенном институте в целом. Для меня было исключительно важно дружеское внимание Бруно, когда он где-нибудь в коридоре с улыбкой спрашивал: «Что нового?» — и, выслушав ответ, тут же делился своими новостями или приглашал к себе в кабинет, чтобы объяснить что-либо подробнее у доски. Сейчас мне кажется, что все самое новое в мире физики я узнавал от него. Все эти обсуждения поднимали настроение и заряжали желанием работать.

Я обязан Бруно не только поддержкой в научной работе и при моей защите диссертации, но и во многом другом, например, в науке... вождения автомобиля. Общеизвестно, что он был замечательным спортсменом: отлично играл в теннис, первым открыл для дубненцев подводное плавание и превосходно водил машину. Когда мы однажды встретились в Крыму и некоторое время путешествовали на машинах вместе, он преподнес мне, начинающему тогда водителю, несколько ценных советов по вождению на плохих горных дорогах. С его подачи я провел свой «Москвич» по старой горной каменистой дороге от Судака до Ялты, где на крутых подъемах приходилось переходить на первую передачу. А заканчивали мы с Диной (моей женой) этот тяжелый маршрут вообще в кромешной тьме, так что на крутых поворотах фары упирались в пустоту и казалось, что едешь в никуда. Но, слава богу, все закончилось нормально, благо не попалось ни одной встречной машины. В Ялте мы снова встретились и еще попутешествовали вместе.

Можно было бы много интересного вспомнить о его жизни, но, я уверен, это лучше сделают другие, и поэтому я остановился только на том, что мне близко и что сейчас в памяти не столь уж многих людей.

Бруно Максимович Понтекорво, этот удивительнейший человек, сыграл в моей жизни очень важную роль своим примером отношения к нашей науке и к людям. Великолепный экспериментатор, он тонко чувствовал все нюансы самых последних достижений теоретической мысли и сам сделал много теоретических работ мирового класса. В наше время это очень редкое сочетание. Именно он, пожалуй, и был той «затравочной массой», которая создавала атмосферу непринужденности и вечного поиска нового в нашей лаборатории.

И он был поразительно прост и доступен.

Мне бесконечно жаль, что нет его с нами.

ВСТРЕЧИ С БРУНО ПОНТЕКОРВО*

Г.Пираджино

Туринский университет, Италия

В Дубну я впервые приехал 25 октября 1968 г. в научную командировку от Национальной академии деи Линчеи. Эта дата мне хорошо запомнилась, так как это был день рождения моей матери, приехавшей вместе со мной в Москву, чтобы встретиться со своими родственниками. В аэропорту меня встречал Джиль Понтекорво, старший сын Бруно. В суматохе встречи я не разобрал его имени, и он садистски заставил меня говорить на моем ломаном русском языке, пока через три дня я наконец не узнал, что он понимает итальянский. Скорее всего, он унаследовал от отца вкус к шуткам.

Другие написали лучше, чем я, о великой изобретательности Бруно. У меня же остались воспоминания о приятных семейных встречах, во время которых мы говорили в основном об Италии, о подводной охоте и о теннисе, первые две темы обсуждались со мной, а третья — с моей женой, которая была очень сильным игроком второй категории (по итальянской классификации) и которую Бруно очень уважал. Он рассказывал мне, как в паре с Баччи выиграл в свое время чемпионат Италии и как в том же году он был финалистом в одиночном разряде. Он сокрушался, что впоследствии, когда он перешел во вторую категорию, он не смог больше достичь хороших результатов. Наш университет закончил Вьери Баччи, тоже хороший теннисист, который, случайно узнав о моей встрече с Понтекорво в Дубне, сказал мне, что он сын того старого партнера Бруно по парной игре. Бруно попросил у меня адрес Баччи и написал ему.

Один из любимых смешных рассказов Бруно касался приезда в СССР профессора Ватагина, нашедшего убежище в Италии во время революции в России. Вместе с Бруно Ватагин совершил поездку на озеро Байкал, где два выдающихся физика встретились с местным культурным обществом. Они были представлены изумленной публике как советский академик Бруно Максимович Понтекорво и итальянский академик Глеб Васильевич Ватагин!

В 1974 г., вместе с Ю.А.Щербаковым, ученым секретарем ОИЯИ и начальником советской группы, с которой мы сотрудничали, и экспериментатором группы М.М.Кулюкиным, Джиль впервые посетил Италию. Его поездка прошла под знаком исключительной осмотрительности, дабы избежать «провокаций», которых, как мне сказали, боялись в КГБ. После того как был взломан лед, поездки наших советских коллег участились. Только Щербаков, неосторожно оскорбивший советника советского посольства по науке просьбой поднести чемоданы, больше не получал советской визы для поездки в Италию. Хорошее развитие совместных экспериментов в Дубне и Фраскати, а также отсутствие невозвращенцев и скандалов успокоили службы контроля, и наконец наступил великий момент,

**Перевод с итальянского Д.Б.Понтекорво.*

© Г.Пираджино, 1997

когда Бруно первый раз вернулся из России в Италию — для участия в празднествах, организованных в Риме в 1978 г. в честь семидесятилетия его друга и коллеги Эдоардо Амальди. Невозможно описать толпу фотографов и журналистов, собравшихся в аэропорту Фьюмичино по случаю приезда Бруно. С трудом, с помощью сотрудников советского посольства и моей (а я выполнял роль охранника), он сумел сесть в автомашину посольства и избежать таким образом многочисленных поклонников. Потом, в более спокойной обстановке, в Институте физики, он мне подарил коробку кубинских сигар, которую я до сих пор храню... Сколько глупостей было написано в газетах и журналах в связи с Бруно! Одна из многих такая: Бруно Понтекорво, находясь в СССР, поменял свое имя на Бруно Максимович.

К сожалению, к этому времени появились первые симптомы серьезной болезни, которая сопровождала его до самой смерти. Это была легкая дрожь в руках, которая иногда мешала писать на доске. Некоторое время спустя, в Дубне, он мне сказал, что у него признали болезнь Паркинсона и что он умирает. Понтекорво даже вычислил энергию, которую затрачивало его тело на дрожь, которая и привела к тому, что он заметно и быстро похудел. В течение нескольких лет дрожь распространилась на все тело; он мог передвигаться только быстро или на велосипеде.

Улучшению душевного состояния Бруно наверняка не способствовало типичное для того времени малоприятное событие, которое произошло в 1980 г. Синхроциклотрон ОИЯИ был остановлен на реконструкцию, и наша коллаборация представила в ЦЕРН проект эксперимента для изучения антипротон-ядерного взаимодействия на новом ускорителе LEAR в ЦЕРН. По причинам, упомянутым выше, профессор Щербаков не смог приехать в Женеву, чтобы вместе со мной принять участие в представлении проекта, который, к нашему великому удовольствию, был принят.

Среди процессов, которые мы намеревались изучить, были и «реакции Понтекорво», предсказанные им в 1957 г. Естественно, я держал советских коллег в курсе всех событий и уже с энтузиазмом собирался в Дубну, чтобы договориться о создании экспериментальной установки. В течение шести месяцев, по совершенно непонятным причинам, мне не приходило из ОИЯИ приглашение, без которого я не мог получить советскую визу. Объяснение мне дал во время конференции по ядерной физике, проводившейся летом в Либлице, недалеко от Праги, мой друг и коллега из Дубны Виктор Сидоров, изучавший ядерные фотоэмульсии, экспонированные в институте SIN в Швейцарии. (К сожалению, Сидоров, по приезде на конференцию перенесший сердечный приступ, вызванный высокой летней температурой, вернувшись в Дубну, умер от инфаркта.) В ответ на мои сетования по поводу того, что я не получал официального приглашения от ОИЯИ, он мне рассказал о неприятном событии, произошедшем в Дубне: профессор Щербаков, чья подпись стояла под предложением эксперимента, представленным мною в ЦЕРН и уже одобренным, поддался внезапному приступу зависти (болезни очень распространенной и опасной) и решил разрушить нашу коллаборацию, которая уже провела двенадцать счастливых лет, так как он сам не имел бы возможности ездить в ЦЕРН. Щербаков воспользовался классическим методом доноса в

органы контроля на членов собственной группы, которые, по его утверждению, собирались ездить за границу только для обогащения (что считалось очень серьезным нарушением в те времена!), на меня — за выполнение роли «волшебного волынщика», а также на Бруно, который нас поддерживал и тем самым «мешал» хорошей работе и гармоничному существованию советской группы. Как во времена Венецианской республики, обвинения были восприняты со всей серьезностью. Когда же смехотворность доносов была признана, назначили нового руководителя советской группы. Естественно, все это было результатом борьбы, которую повел Бруно Понтекорво и в которой потребовался весь его авторитет. Когда я наконец приехал в Дубну, меня любезно попросили ответить на множество вопросов, занимавших три страницы и прекрасно отражавших обвинения, относящиеся ко мне. После этого момента все пошло хорошо, и эксперимент был выполнен отлично. На сетования своих молодых коллег, несправедливо обвиненных, Щербаков отвечал: видите, как изменились времена, раньше вы были бы арестованы без обсуждения, а теперь вы на свободе. Прошел уже год, как Щербакова не стало.

Напротив, большое удовлетворение Бруно доставило признание, высказанное в 1988 г. Ледерманом, Шварцем и Штейнбергером по случаю вручения им Нобелевской премии. Бруно показывал мне письма, полученные от них. Естественно, он, чьи заслуги получили аналогичную оценку в Советском Союзе, признавал, что не мог быть включен в группу, получившую премию в Стокгольме, даже при соответствующих заслугах. Полным ходом шла «перестройка», и впервые на моей памяти Бруно высказался по поводу прошлого режима: «Чего же ты хочешь, Гуидо, я, наверно, был кретином, но я ничего не сознавал».

В мае 1990 г., возвращаясь из похода в лес за грибами, Бруно упал с велосипеда и сломал бедренную кость. По просьбе его сыновей я начал немедленно действовать, чтобы организовать его скорейшую транспортировку в Рим. При содействии профессора Спаллоне он через три дня прибыл в пункт назначения и ему сделали успешную операцию; для Бруно начался этап выздоровления в кругу римских родственников. Месяц спустя после операции он находился во Фреджене, где его посетил молодой врач. Так оказалось, что это был один из медиков, встречавших Бруно в аэропорту Фьюмичино и участвовавших в его транспортировке в клинику Спаллоне. Врач был очень рад видеть Бруно в нормальном состоянии и сказал, что он никак не мог ожидать, что Бруно выдержит хирургическое вмешательство, которому его подвергли, учитывая его плохое состояние по приезде в Рим. По этой причине Бруно впоследствии настаивал в разговорах со мной на том, что я спас ему жизнь! В благодарность второй сын Бруно, Тито, пригласил меня на ужин с отцом в кавказский ресторан. Темы, которые обсуждались, были современными и касались будущего России, а также проблемы самого Тито. Кандидат географических наук, океанолог, Тито, став конезаводчиком, выращивающим чистокровных лошадей и построившим по своей личной выдающейся инициативе две прекрасные конюшни, естественно, стал причиной множества случаев зависти в Дубне и даже некоторых актов нетерпимости по отношению к нему. Однако недоброжелатели и клеветники нашли в нем камень, о который сломали зубы... Пока Тито рассказывал нам разные случаи, Бруно предложил за него тост, содержавший, думаю, высшую похвалу из его уст. Наме-

кая на озорное прошлое Тито, он сказал следующее: «Некоторые люди рождаются хорошими и таковыми остаются, некоторые люди рождаются хорошими, но со временем портятся, все это весьма распространено; есть люди, рождающиеся плутами и остающиеся таковыми, и это нормально; но бывают редчайшие случаи, когда человек рождается проказником и впоследствии становится хорошим; за это я и поднимаю тост».

Внезапно сраженный вирусным воспалением легких, с которым его ослабленный организм был не в силах бороться, Бруно скончался в возрасте восьмидесяти лет. На похоронах профессор Фидекаро выразил соболезнование от имени Итальянского физического общества и от многочисленных друзей, я — от имени посольства Италии, с чьей помощью урна с прахом Бруно была впоследствии перевезена в Рим.

Я очень сильно ощущаю отсутствие Бруно — великого, доброго, друга.

БРУНО МАКСИМОВИЧ, КАКИМ ЕГО ПОМНЮ

Л.Л.Неменов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Я познакомился с Бруно Максимовичем в 1958 г. Первое сильное впечатление было от его манеры вести разговор. Он не перебивал собеседника и если с чем-то не соглашался, то делал это в удивительно мягкой форме. После нескольких минут разговора ощущение разницы в возрасте исчезало и можно было обсуждать любые темы так же свободно, как со своими сверстниками. После более длительного знакомства я понял, что манера вести беседу обусловлена не только вежливостью Бруно Максимовича, но и его доброжелательным отношением к собеседнику, даже если, с общепринятой точки зрения, собеседник такого отношения не заслужил.

...В кабинет Бруно Максимовича стучится и смиренно входит студент. Хозяин кабинета приветливо здоровается, усаживает молодого человека в кресло и начинает вести переговоры о сроках пересдачи экзамена. Заглянув в записную книжку, профессор предлагает удобный для него день. Студент вежливо объясняет, что его планы будут нарушены, если экзамен состоится в это время. Бруно Максимович снова заглядывает в календарь и предлагает другую дату. Двоечник объясняет, почему и этот день его не устраивает. Третья дата также отклоняется, и только четвертый вариант встречи оказывается для студента приемлемым. Завершив переговоры, Бруно Максимович провожает визитера до дверей и жмет ему руку. Свидетель такой сцены прощания мог заключить, что из кабинета выходит молодой физик, заслуживший своими трудами особое уважение Бруно Максимовича.

Когда мне было лет 26, я сделал очень плохую теоретическую работу и доложил ее на семинаре. К счастью, в зале был Я.А.Смородинский, который весьма темпераментно дал ей правильную оценку. На следующий день я встретил на улице Бруно Максимовича. На семинаре его не было, но плачевный результат ему был известен. Попросив рассказать о дискуссии, Бруно Максимович пригласил меня к себе домой и поставил на стол бутылку вина. Откупорив бутылку и налив зеленовато-желтый напиток в бокалы, он рассказал историю его происхождения. Это было лучшее французское белое вино, которое изготовлялось на маленьком винограднике. Первым владельцем виноградника был изобретатель фотографии Ньепс, а его прямой потомок дарил каждый год несколько бутылок вина брату Бруно Максимовича. Хорошо помню, что в конце вечера мои переживания исчезли, и я ушел от Бруно Максимовича в прекрасном настроении.

В этих двух эпизодах проявилось постоянное стремление Бруно Максимовича помочь человеку даже в тех случаях, когда он этой помощи и не заслужил.

Меня всегда удивляла и восхищала та щедрость, с которой Бруно Максимович тратил время на обсуждение работ, не принадлежащих к интересующим его разделам физики. Он соглашался обсуждать работу либо сразу, либо через не-

© Л.Л.Неменов, 1997

сколько часов, в крайнем случае на следующий день. Он с интересом слушал, всегда задавал нетривиальные вопросы и, если в работе был хотя бы крошечный результат, обязательно его многократно хвалил. Являлся ли интерес к чужой работе хотя бы частично реальным или это еще одна деликатная форма поощрения и поддержки автора? Не знаю. Помню, что такие обсуждения всегда были интересными, полезными и после них долгое время было прекрасное настроение.

Осенним вечером 1958 г. Бруно Максимович предложил отвезти в общежитие трех студентов, проходивших практику в его отделе. Пошел сильный дождь. Бруно Максимович, остановив машину, попросил меня открыть дверцу и говорить, куда надо ехать, так как дворники не работали. Сперва медленно ползущая машина исправно слушалась моих команд. Потом реакция шофера ослабла, и я вынужден был закричать об опасности, так как мы чудом не съехали в канаву. Через несколько секунд угроза неминуемой аварии заставила меня не только кричать, но и пытаться предотвратить кувырок в кювет, схватившись за руль. Машина остановилась, Бруно Максимович рассмеялся и сказал, что, несмотря на дождь и темноту, дорогу видит. Так я впервые познакомился с шутками Бруно Максимовича, которые иногда были довольно суровыми. Помню поездку из Дубны в Москву. Сзади сидел теоретик из Арзамаса. В середине пути Бруно Максимович сообщил, что автомобиль оборудован устройствами, позволяющими ехать без руля. Незаметно вращая баранку прижатым к ней коленом, Бруно Максимович поднял руки и стал комментировать работу несуществующего устройства. Пассажир на заднем сиденье рассеянно слушал оживленную речь водителя, ерзал, цепенел, обреченно поддакивал и облегченно расслабился, когда машина стала управляться руками. Устройство включалось еще два-три раза, и столько же раз замирал и расслаблялся пассажир.

Хорошо помню визит в Боткинскую больницу. В приемную вышел Бруно Максимович в превосходном настроении. Он рассказал о замечательных хирургах своего отделения, о том, как внимателен к больным весь персонал. Посетовал на низкие зарплаты в больнице, заметив, что в США эти хирурги были бы миллионерами. Потом, понизив голос, весело сообщил о том, что радикулит является лучшей болезнью в мире для симуляции и за время пребывания в больнице ему удалось выявить (для себя, разумеется) нескольких симулянтов. Тема так увлекла Бруно Максимовича, что мы прошли в палату и один мнимый больной был незаметно показан. Вернувшись в приемную, Бруно Максимович с видимым удовольствием подробно рассказал о системе признаков, по которой можно установить симуляцию радикулита. Важным элементом системы был отказ больного от операции. Так как операции были тяжелыми и опасными, то отказ мог быть обусловлен естественным страхом пациента. Эта причина при построении системы выпала из рассмотрения, так как сам Бруно Максимович, видимо, ничего не боялся и вел себя как человек, который выздоровел и через два-три дня должен выписаться из больницы. В действительности через два дня ему должны были сделать многочасовую операцию на позвоночнике, после которой его поместили в палату, где лежали еще пятеро больных...

Бруно Максимович обладал удивительной способностью в любой ситуации замечать все хорошее. В 70-е годы мы проводили в ИФВЭ сеансы по поиску

радиоактивности нового типа. Масштабная и красивая идея эксперимента была предложена Бруно Максимовичем. Он приехал на сеанс и принял участие в измерениях. Обедали мы в институтской столовой. Попробовав суп, Бруно Максимович его похвалил и, съев всю тарелку, похвалил еще раз. На второе было, кажется, мясо с вкусной тушеной капустой, которая также заслужила одобрение. Мы несколько раз обедали в этой столовой, и каждый раз, если был повод, Бруно Максимович хвалил еду. Я обедал в этой столовой сотни раз со многими сотрапезниками и не помню случая, чтобы кто-нибудь из них похвалил еду, хотя время от времени повод для этого был.

Особенно сильно способность видеть хорошее проявлялась у Бруно Максимовича в оценке людей. Он охотно поддерживал разговор о сильных сторонах того или иного человека, а если собеседник начинал произносить бессмертные монологи Михаила Семеновича Собакевича, то Бруно Максимович сперва спорил, потом сердился и быстро прекращал разговор. Полагаю, что мужество и способность видеть и находить в людях и окружающем мире прежде всего хорошее играли важную роль в научных достижениях Бруно Максимовича.

Одним из важнейших качеств ученого Бруно Максимович считал критическое отношение к полученному результату. Будучи предельно требовательным к собственным работам, он обладал особым даром видеть сомнительность результатов, полученных в других экспериментах. Открытия, ошибочность которых впоследствии устанавливалась, казались Бруно Максимовичу сомнительными уже с момента публикации.

Помню, как в коридоре ЛЯП один физик, ликуя, сообщил мне о наблюдении нового легкого изотопа и о примерной дате соответствующего доклада. Семинар, однако, не состоялся. Автор открытия обсудил работу с Бруно Максимовичем, который подверг сомнению достоверность результата, основываясь на противоречии полученных данных с астрофизическими. Тщательные повторные измерения показали, что изотопа в действительности нет. Можно привести много других примеров, когда Бруно Максимович помог авторам избежать публикации неверных результатов.

Удивительная способность видеть недостоверность результата, по-моему, обусловлена не только критической направленностью мышления, глубоким и широким знанием физики, огромным научным и жизненным опытом, но и особой интуицией, которая одним людям дается, а другим нет. На критическое отношение к научным результатам, вероятно, повлиял и учитель Бруно Максимовича: Ферми говорил, что физик, который измеряет какую-нибудь величину, может ошибаться на три-четыре ошибки. Но если он наблюдает новое явление, то надо сделать все возможные контрольные опыты, чтобы исключить получение неверного результата.

К семидесятилетию Бруно Максимовича я писал текст адреса от нашей лаборатории. Хотелось, чтобы кроме наиболее известных результатов в нем были бы упомянуты и менее значительные работы, которые, однако, сам Бруно Максимович считал интересными. Сделать это было трудно, так как он редко говорил о своих работах. Однако у меня сложилось впечатление, что Бруно Максимович «любил» методические исследования по усовершенствованию пропорциональных

счетчиков, сделанные им до приезда в Советский Союз. Получить ответ на прямой вопрос было невозможно. Скорее всего это были бы несколько ироничных фраз. Поэтому я начал беседу о разделах физики, которыми Бруно Максимович не занимался, переходя временами к физике слабых взаимодействий и методике пропорциональных счетчиков, затем снова возвращаясь к другим разделам физики. Мы медленно шли по улице Жолио-Кюри. Через некоторое время Бруно Максимович остановился и, улыбнувшись, сказал: «Мне кажется, что Вы собираете материал для моего некролога».

Бруно Максимович был очень скромным человеком и из-за этого испытывал некоторые трудности, рассказывая о себе. Вот один из примеров.

— Когда я учился в школе (лицее), у нас преподавали древнегреческий язык и латынь. Древнегреческий я знал посредственно, а латынь очень хорошо. Нет, не очень хорошо, а лучше греческого. Нет. Все-таки латынь я знал хорошо, не очень хорошо, но хорошо. На экзамене нам задали перевод с греческого. А я взял и перевел с греческого не на итальянский, а на латынь. Это произвело такое впечатление на учителя, что мне поставили высший балл. А если бы я перевел на итальянский, то, конечно, оценка была бы ниже.

После окончания школы Бруно Максимович поступил в Римский университет и решил специализироваться в области ядерной физики. Вероятно, выбор специальности был обусловлен многими причинами, но мне он рассказал только об одной:

— В Римском университете была очень сильная, с многолетними традициями школа оптической спектроскопии. Однако в этой области физики имелось огромное количество работ, которые надо было изучить. А ядерная физика только начиналась, и можно было приступать к исследованиям без изучения большого количества предшествующих работ. Поэтому я, естественно, выбрал ядерную физику.

В июле 1993 г. Бруно Максимович из Рима приехал в Марсель на конференцию по физике высоких энергий вместе с итальянским студентом, который всюду его сопровождал. После обзорного доклада по физике слабых взаимодействий я подошел к Бруно Максимовичу. Слушатели разошлись, и он один сидел в центре первого ряда. Увидев меня, он как всегда приветливо улыбнулся, протянул руку, поздоровался и сказал, что не может встать, так как плохо себя чувствует. Потом тоном, в котором было глубокое разочарование, произнес: «Как скучно. Ни одного нового яркого результата». Лицо у него было печальное. Вероятно, среди сотен людей, приехавших на конференцию, он был единственным физиком, глубоко огорченным отсутствием новых крупных результатов.

Необычайный, удивительный интерес к физике Бруно Максимович сохранил до последних дней своей жизни. В сентябре 1993 г. я позвонил ему и напомнил о конференции в Москве. Бруно Максимович чувствовал себя очень плохо, и ему было трудно говорить. Тем не менее он попросил прочитать по телефону названия докладов. Переспрашивая тему доклада, он извинялся и говорил о своем состоянии жестокие и несправедливые слова, вызывавшие боль и неловкость. Ознакомившись с названиями докладов, Бруно Максимович сказал, что некоторые из них его интересуют и, если ему станет лучше, он обязательно приедет на конференцию. Это был наш последний разговор.

БРУНО — КАК МНОГО В ЭТОМ ЗВУКЕ...

Г.И.Селиванов

Институт физики высоких энергий, Протвино

Фамильярность в нашем понимании, по-видимому, не лучшая форма общения, но иногда она сродни душевной простоте, чистосердечности отношений, отсутствию излишней напыщенности и формализма.

Я не случайно начал свои воспоминания с этого, казалось бы, прозаического определения. Оно дает мне возможность отчасти исподволь подойти к воспоминанию о тех днях первого общения с Бруно Максимовичем, когда он впервые переступил порог Лаборатории ядерных проблем. Долгое время все мы, молодые специалисты-физики, не могли привыкнуть к настоятельному требованию известного ученого, профессора Бруно Понтекорво называть его просто по имени, как своего закадычного друга или приятеля. Но именно эта, на наш взгляд совершенно неприемлемая форма общения, вероятно, более всего способствовала установлению простых деловых отношений между нами, еще совершенно юными людьми, и маститым ученым, каким в то время уже являлся Бруно Понтекорво. Позже мы, разумеется, преодолели его сопротивление и приучили к необходимости в наших условиях называться по имени и отчеству. Но это уже не могло создать отчуждения и повлиять на наши товарищеские отношения.

Бруно Максимович начал свою деятельность как руководитель сектора в 1950 г., т.е. в тот период, когда научная программа Лаборатории ядерных проблем только формировалась. На его долю выпала мезонная физика — наименее изученная часть этой программы. В известной мере это был не случайный жребий. Он явился как бы продолжением того направления исследований, которое было начато и успешно проводилось Б.М.Понтекорво задолго до этого.

Поэтому Бруно Максимович сразу же почувствовал себя в своей стихии и с огромным энтузиазмом взялся за освоение новой, но уже хорошо знакомой ему области исследований. Ясность цели, четкая устремленность мысли в решении поставленных задач сразу же снискали Бруно Максимовичу высокое признание, огромное уважение и беспредельное доверие среди всех, с кем ему приходилось работать и общаться.

Основным девизом Бруно Максимовича всегда было требование постановки только поисковых экспериментов, могущих дать новые, принципиально важные научные результаты. Известно, что поисковые исследования далеко не всегда заканчиваются положительно. Но именно в том и состоит величайшее призвание настоящего ученого — суметь увидеть даже в отрицательном результате нечто новое, оригинальное, совсем не очевидное, позволяющее сделать далеко идущие выводы. Бруно Максимович, насколько я знаю, всегда шел именно этим, отнюдь не всегда популярным путем.

© Г.И Селиванов, 1997

Благодаря огромной научной эрудиции, изобретательности, тонкой интуиции исследователя в сочетании с новаторской смелостью и величайшим трудолюбием Бруно Максимовичу в непростых условиях удалось выполнить большое число великолепных по замыслу и оригинальных по исполнению пионерских научных исследований и сделать ряд открытий и изобретений, получивших всеобщее признание.

Одним из исключительно ценных качеств Бруно Максимовича как ученого было понимание важности развития новых методических направлений, без которых немыслима экспериментальная ядерная физика. С самого начала своей работы в Лаборатории ядерных проблем Бруно Максимович обращал особое внимание на необходимость развития экспериментальной базы и в дальнейшем всемерно способствовал ее укреплению и совершенствованию.

Но если отвлечься от науки, Бруно Максимович был очень скромным, простым, чрезвычайно общительным, задушевным человеком. Он всегда в гуще всех событий. Широта его интересов совершенно необычайна. От проблем космологии и эволюции Вселенной до поиска способов наиболее эффективной и увлекательной формы подводной охоты — все находилось в поле его зрения. И, конечно, центральное место занимало любимое детище — нейтрино.

ОН БЫЛ УЧИТЕЛЕМ НЕ ТОЛЬКО В АУДИТОРИИ

А.В.Куликов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Впервые я встретился с Бруно Максимовичем в 1966 г., приехав в Дубну студентом физфака МГУ. Бруно Максимович читал нам курс физики элементарных частиц и был заведующим кафедрой. Надо сказать, что многих (и меня в том числе) привлекла при выборе кафедры не только перспектива практики в ОИЯИ, но и возможность учиться у всемирно известного ученого с необычной фамилией Понтекорво и таинственной биографией. Позднее мне ни разу не пришлось пожалеть об этом выборе.

Бруно Максимович всегда очень серьезно и ответственно относился к своей преподавательской работе. Его лекции были высокопрофессиональными, наряду с обычной программой он часто рассказывал нам о самых новых проблемах физики частиц, но все это делалось на уровне, доступном для студента-экспериментатора. Никогда он не перепоручал из-за своей занятости провести пару лекций кому-либо из своих младших коллег (что, к сожалению, не редкость среди профессоров-академиков). Когда к Бруно Максимовичу подступила тяжелая болезнь, он хотел тут же покинуть кафедру. Довод был такой: «Как же я останусь заведующим, если не смогу читать лекции?» То, что чуть ли не половина заведующих сами лекций не читали, его не убеждало. С большим трудом Понтекорво уговорили еще на два года остаться на кафедре, которой он руководил 19 лет, и большую часть лекций он таки прочитал сам.

Среди студентов Бруно Максимович считался «умеренным либералом». Ко всем он относился доброжелательно и без малейшего чувства превосходства, правда, очевидных бездельников недолюбливал. При его собственной увлеченности наукой его огорчало, если среди студентов встречались люди, безразличные к своей будущей профессии. Экзамен сдать ему было не очень сложно, он не докучал мелкими придирками, если человек понимал суть проблемы. Если все же ставился «неуд», то для экономии времени (и отчасти в наказание) пересдача нередко назначалась в поезде во время его поездок в Москву.

Позднее мне повезло ближе познакомиться с Бруно Максимовичем. Это произошло в 1969 г., когда он предложил мне заняться подготовкой эксперимента по поиску новых метастабильных частиц на серпуховском ускорителе. Я с радостью согласился, так как давно уже стремился уйти от обработки фильмовых данных к реальному эксперименту с электронной методикой. Бруно Максимович был автором идеи и научным руководителем этого проекта, поэтому в течение последующих лет мы постоянно встречались, обсуждая ход работы, не раз вместе ездили в Протвино. По молодости лет я не осознавал тогда, что это важнейший период в моей жизни и редкая удача. Лишь позднее стало ясно, как много дали мне эти годы как в профессиональном, так и в человеческом отношении.

© А В.Куликов, 1997

Общаясь с Бруно Максимовичем, я узнал его со многих новых для меня сторон. Он был человеком высочайшей научной эрудиции, способным подойти к пониманию проблемы совершенно неожиданным образом, находить аналогии в, казалось бы, абсолютно не связанных явлениях. Иногда мне представлялось, что он видит все это откуда-то извне, из четвертого, недоступного большинству, измерения.

Бруно Максимович всегда говорил по-русски с заметным акцентом и иногда просил подсказать нужное слово. Поэтому поначалу я был крайне удивлен, увидев, что в черновиках наших научных работ он замечает малейшие стилистические неточности. Это было для меня первым уроком написания научных статей. Причем он никогда не «учил»: надо делать так. Просто он сам делал так, как нужно, и это — в работе или в отношениях между людьми — становилось для многих критерием оценки собственного поведения. Бруно Максимович был очень внимателен к людям, будь то его коллега или студент, и всегда готов был оказать помощь. Я знаю только две причины, которые выводили его из себя: это тупой бюрократизм и людская нечестность.

У Бруно Максимовича было прекрасное чувство юмора, и он ценил это качество у других. Встречаются люди, которые сами не прочь пошутить, но по отношению к себе шуток не приемлют. К Понтекорво это ни в коей мере не относится. Помню, однажды мы заспорили с ним по какому-то не очень существенному поводу, кажется, насчет ссылки в литературе. Каждый стоял на своем, и Бруно Максимович сказал: «Давайте пари? На коньяк?» Я согласился. Но он, видно, тут же подумал, что неловко ему, академику, спорить с бедным аспирантом на что-то материальное, и поправился: «Нет, давайте на честь!» — «Это как?» — «А вот так: кто проиграет, тот потеряет честь!» И тут же принялся подтрунивать надо мной: «Ай-ай-ай, такой молодой человек, и потеряет честь, как не стыдно! Мне-то уже все равно, я уже старый, а Вы — ай-ай-ай!» На следующий день я нашел в библиотеке нужную ссылку и принес Понтекорво. Он рассеянно посмотрел на нее и сказал: «Да, Вы были правы». Но тут же вспомнил про пари, вскочил и смешно затопал ногами, хватаясь за голову: «Я потерял честь! Какой позор, я потерял честь!» И подобных историй было немало.

Многим известно, что в свое время Бруно Максимович был прекрасным теннисистом, велосипедистом, да и уже в зрелом возрасте любил спортивные развлечения и отдых. Поэтому особенно больно было видеть, как тяжелая болезнь разрушает его организм, временами практически лишая возможности передвигаться. Когда болезнь отступала, Бруно Максимович оживлялся. В один из таких периодов, когда ему было уже за семьдесят, я даже встретил его на лыжне в нескольких километрах от города. Но особенно мне запомнилось, когда еще через год-два в один из летних дней я увидел, что Понтекорво едет на работу на велосипеде, но как едет: он вообще не держался за руль и читал на ходу книжку, держа ее обеими руками. Я был страшно рад за него...

ТАЛАНТ И ЗНАНИЯ

Б.М.Барбашов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Я знал Бруно Максимовича Понтекорво с 1954 г., когда после окончания МГУ был направлен на работу в теоргруппу Гидротехнической лаборатории (ГТЛ) в г. Дубне, ныне она называется ЛЯП. Услышал впервые о нем при следующих обстоятельствах: придя как-то в научную библиотеку за журналом, получил от Марии Витальевны Богачевой, тогда заведующей библиотекой, ответ: «Этот журнал находится у профессора». У какого профессора, спросить я не решился, подумав, что, по-видимому, профессор здесь один и его каждый должен знать. У своих коллег-теоретиков я все-таки спросил, кого здесь Мария Витальевна называет профессором. Удивившись моей «серости», они мне сказали, что это известный итальянский физик Б.М.Понтекорво, ученик Э.Ферми, приехавший в СССР и работающий теперь в Дубне.

Увидел я Бруно Максимовича на семинаре, который в то время очень оживленно проходил в ГТЛ в конце каждой недели. На него приезжали из Курчатовского института, филиалом которого была ГТЛ, известные физики: А.Б.Мигдал, И.Я.Померанчук и др. Это было время, когда в космических лучах и на ускорителе в США стали появляться первые сведения о новых частицах — гиперонах. Меня, как молодого и мало знающего физика, тогда поразил глубоко профессиональный, реально оценивающий возможности ляповского ускорителя подход Бруно Максимовича к этой проблеме. Как известно, энергии этого ускорителя не хватает для рождения Λ-частиц на нуклонах, и Бруно Максимович поставил тогда кому-то из теоретиков задачу — рассчитать, не будут ли рождаться Λ-частицы при столкновении протонов с ядрами с учетом фермиевского движения нуклонов в ядре. Оказалось, что и в этих экспериментах энергии ускорителя недостаточно.

С тех пор и в течение многих последующих лет мне доводилось общаться с этим выдающимся физиком и талантливым человеком, достижения которого в науке общеизвестны.

В высшей степени неординарным человеком был Бруно Максимович и в повседневной жизни. Замечательный спортсмен, которому во многом обязано развитие тенниса в Дубне. В то время поселок Дубна относился к Калининской области, и во всей области имелось четыре теннисных корта — два в Калинине и два в Дубне, поэтому областная теннисная команда формировалась в основном из дубненцев и неизменно среди них были Б.М.Понтекорво с сыном Джилем.

Впервые костюм для подводного плавания появился в Дубне у Б.М.Понтекорво, тогда это было большой диковиной. И вот на берегу Дубны, где вода теплее, чем в Волге, мне довелось видеть такую картину: Бруно Максимович с костюмом и бутылкой водки, а также банкой сгущенного молока для тех, кто сильно замерзает под водой.

© Б М.Барбашов, 1997

Другой спортивный эпизод, характеризующий его спортивную разносторонность, связан с футбольным судейством Бруно Максимовича. Теоретики, в их числе и я, будучи тогда несколько моложе, чем ныне, участвовали в футбольных межлабораторных турнирах ОИЯИ, и на одном из матчей Бруно Максимович был судьей в поле. И вот в середине матча при нулевом счете он неожиданно, без всяких оснований на то, назначил в наши ворота пенальти, счет изменился. А затем, по прошествии некоторого времени, при игре в центре поля также неожиданно был назначен пенальти в ворота наших соперников — и счет сравнялся. После игры на возражения команд о назначенных пенальти Бруно Максимович объяснил эти решения так: игра шла зрелищно неинтересно, и он таким образом решил ее оживить...

Много лет назад один сотрудник института сказал, что в Москве продается детеныш крокодила: не хочет ли Бруно Максимович его купить. Б.М. серьезно отнесся к этому предложению, но, подумав, сказал, что крокодилы быстро растут, а у него маленькие дети, и это для них будет опасно...

Эти отрывочные воспоминания, мне кажется, все же показывают отсутствие высокомерия и открытость Б.М. простым жизненным ситуациям — серьезным и забавным.

ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ

Л.А.Микаэлян

Российский научный центр «Курчатовский институт», Москва

...Как-то на ежегодном собрании Отделения ядерной физики РАН Бруно Максимович отчитывался о работе совета по физике нейтрино после аналогичного выступления Г.Н.Флерова. Как обычно, Г.Н. иллюстрировал свой доклад дюжиной великолепных плакатов. Ничего подобного у нас и в помине не было (тогда я был секретарем совета).

Выйдя на кафедру, Бруно Максимович строго посмотрел в мою сторону:

— Лев Александрович, где же наши 50 плакатов?!

Потом, как бы вспомнив, объяснил присутствующим:

— У нас плакаты очень большие, пришлось брать грузовик, вот он где-то и застрял.

...Бруно Максимовичу исполнилось 70 лет. Никаких официальных торжеств не было, а поздравить его хотелось. Пришлось пойти на маленькую хитрость.

Я позвонил в Дубну: Бруно Максимович, есть у меня один научный вопрос, хочу обсудить с Вами, можно я приеду с Сашей Боровым? За год до этого Бруно Максимович побывал в нашей нейтринной лаборатории на Ровенской АЭС и знал многих сотрудников.

Он и Биленький встретили нас на платформе в Дубне, поехали в ресторан, столик был уже заказан.

Мы привезли самодельный подарок: два маятника, связанных между собой слабой пружинкой, — механическую модель осцилляций нейтрино. Бруно Максимовичу подарок понравился...

Все были ужасно голодны, но я стал читать адрес. Он был написан по-итальянски (помогла моя дочь, она сносно знает этот язык) на официальной тисненой обложке института Курчатова. Все глотали слюнки...

После обеда пошли к нему домой, выпили по рюмочке коньяка. Вскоре разговор пошел о нейтрино. Мы как раз начинали тогда работы по поиску осцилляций...

© Л.А Микаэлян, 1997

ТАКОЙ НЕУГОМОННЫЙ БРУНО

Л.М.Сороко

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Большой «Рочестер», Киев, 1959 г.

Изнурительная подготовка репортерского доклада Бруно подходила к концу. Нас, его референтов, не трогала больше ни сорокаградусная жара в Киеве, ни рабочая обстановка в нашем номере гостиницы «Украина» с неубранными кроватями, грудой ненужных бумаг и с телефоном на полу.

Раздвинув полы портьер у двери, вбегает Бруно.

— All the material must be delivered to the printing-house*, tout de suite**. Вы меня поняли? Постойте, а на каком языке я с вами говорю?

Мы сдержанно улыбаемся, так как очень устали и сами могли бы сделать нечто подобное.

К этому времени, пробыв в Дубне восемь лет, Бруно прекрасно изучил русский язык, читал газеты и художественную литературу, а также добросовестно изучал классиков марксизма-ленинизма. Он был убежденным коммунистом и примыкал к самому гуманному и самому немногочисленному крылу этого утопического учения. Дети Бруно ходили в русскую школу, но у себя дома все они говорили по-итальянски.

С тревогой и настороженностью Бруно ждал первой встречи со своими, теперь зарубежными, коллегами, так как знал, что некоторые физики недоброжелательно или просто враждебно восприняли его отъезд в Россию. Однако в Киеве эти опасения Бруно быстро рассеялись.

На конференцию прибыли известные итальянские физики. Это обворожительный Бернардини с неизменной улыбкой на лице и неприкрытой уверенностью в том, что лучшего лектора и докладчика, чем он, Бернардини, нет, по крайней мере на этой конференции. Мы каждый день видели сутулого Францинетти с плотными темными очками, солидного широколицего Сегре, делового и быстрого Оккиалини.

С физиками из других стран Бруно говорил по-английски или по-французски. Неудивительно, что в голове Бруно творилось вавилонское наложение нескольких языков мира.

В Китае, 1959 г.

Рано утром, в первый же день, меня будит нетерпеливый стук в дверь нашего номера в пекинской гостинице. Вскакиваю, как на пожар, накидываю халат и открываю дверь. Стоит озабоченный Бруно:

---

*Все материалы надо доставить в типографию (англ.).

**Немедленно (фр.).

© Л.М.Сороко, 1997

— Студенты уже собрались. Мы сейчас едем. Завтракать будем потом.

Я набиваю свой портфель бумагами для лекции, наскоро бреюсь. Вскоре раздается мелодичный звоночек. Открываю дверь, держа свой портфель в руках. Опять Бруно, но с извинительной улыбкой на лице.

— Не торопитесь. Китайский ресторан открывается через час. Машин тоже еще нет...

Мы оба дружно смеемся. Так, в первое же утро, была проверена наша адаптация к пекинскому часовому поясу. Мастер розыгрышей и клоунад, Бруно уступал в этом виде искусства только Мигдалу!

...Разочаровавшись в местном понимании европейской кухни, на следующий день все мы пошли завтракать в китайский ресторан нашей гостиницы. Сели за стол с китайскими кушаньями. Вилок и ножей нет. Только пара палочек. Я быстро освоил новую для меня технику. Не желая отставать от меня, Бруно тщетно пытается донести до рта подцепленный уже аппетитный кусочек мяса. А он срывается и раз, и два, и три... Тогда Бруно, учтя печальный опыт такой разминки, берет мясо палочками, изящно подхватывает его руками над самой тарелкой и быстро отправляет в рот. Он рад. Еще бы — тупиковая задача решена новым, нетривиальным приемом без каких-либо нарушений правил игры! Уверен, что на лице королевы Англии в этот момент появилась бы одобрительная улыбка.

...Дорога к могилам китайских императоров вблизи Пекина окружена аллеей каменных изваяний из серого мрамора: слонами, сидящими верблюдами и другими животными. Во время одной из остановок для осмотра Бруно, естественно, забирается на двугорбого верблюда. Залезть-то залез, а слезть не может. Все забегали вокруг необычного всадника. Однако Бруно отказался от нашей помощи. Скользя по мрамору и путаясь в полах длинного демисезонного пальто, он совершает показательный прыжок вниз. Все кончается благополучно!

...Великая Китайская стена к северу от Пекина ползет по горам, словно широкая змея. На крутых участках ступени в пролете стены становятся очень высокими. Желая показать это, Бруно, с присущим ему артистизмом, делает огромные шаги, цепляясь обеими руками за парапет стены и пристально глядя в объектив кинокамеры. Попробуйте только не поверить!

ОБОСТРЕННОЕ ЧУВСТВО СПРАВЕДЛИВОСТИ

В.Г.Соловьев
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Психологический климат и господствующая научная идеология, борьба мнений и подавление альтернативных направлений исследований не отражены в достаточной мере в опубликованных статьях и докладах. Без воспоминаний ученых-современников нельзя получить реальную картину состояния науки в то время. Мне представляется, что долг ученого — описать свое видение того ушедшего времени и роль отдельных ученых.

Б.М.Понтекорво появился в Гидротехнической лаборатории (ГТЛ), расположенной на месте современного города Дубны, незадолго до моего приезда в марте 1951 г. В молодом коллективе, занимавшемся в основном физикой элементарных частиц, господствовала атмосфера творческого подъема и самоотверженного труда. Несомненной заслугой директора лаборатории М.Г.Мещерякова было то, что основной фигурой в лаборатории был ученый. На творческий научный климат в ГТЛ большое влияние оказало поведение Б.М.Понтекорво в коллективе, его непринужденная манера обсуждения физических результатов и новых идей, его демократизм и обаяние. К счастью, благоприятная научная атмосфера сохранилась в ЛЯП ОИЯИ до наших дней благодаря Б.М.Понтекорво, В.П.Джелепову и многим другим ученым и инженерам. С Бруно Максимовичем всегда было интересно обсудить новые научные данные, свою появившуюся идею или непонимание конкретного результата эксперимента.

Для Бруно характерно обостренное чувство справедливости. При любых обстоятельствах он старался восстановить истину. В двух случаях, которые были связаны со мной, Б.М.Понтекорво постарался восстановить справедливость. Я пишу о них, поскольку они характерны для него.

Весной 1957 г. я пытался найти ответ на вопрос: сохраняется ли четность в сильных и электромагнитных взаимодействиях и если сохраняется, то в чем причина ее сохранения. Я исходил из того, что все взаимодействия инвариантны относительно операции отражения времени, и при этом сохраняется комбинированная четность. Сохранение пространственной четности должно быть следствием дополнительных требований инвариантности. Мною было показано, что сохранение четности в электромагнитных взаимодействиях обусловлено градиентной (или калибровочной) инвариантностью. Для одного типа ренормируемых сильных взаимодействий требование изотопической инвариантности приводит к сохранению четности, а для другого типа нет. Поэтому мною было предложено экспериментально изучить, сохраняется ли четность при рождении K-мезонов и гиперонов и при взаимодействии K-мезонов и гиперонов с нуклонами и ядрами.

Первоначально мои соображения вызвали резкую отрицательную реакцию нескольких физиков, они характеризовали мои соображения как абсурдные. Однако вскоре ситуация резко изменилась. Я получил письма от профессоров А.Пайса,

© В Г.Соловьев, 1997

С.Дрелла и Л.Ледермана, в которых мои идеи оценивались как новые и интересные. Профессора Дж.Штейнбергер и Л.Стивенсон сообщили мне, что они начали анализировать имеющиеся у них экспериментальные данные на основе моих предложений. Моими идеями заинтересовался В.И.Векслер. В период кратковременного интереса к этой проблеме те физики, которые меня совсем недавно резко критиковали, стали вести себя так, будто я к этой проблеме непричастен. В такое критическое для меня время именно Б.М.Понтекорво четко сформулировал, что эту идею выдвинул В.Г.Соловьев.

Второй случай относится к моим исследованиям сверхтекучести в ядрах. В начале 1958 г. Н.Н.Боголюбов предложил мне получить условие сверхтекучести ядерной материи, что я и сделал. Далее я начал изучать возможность существования сверхтекучести в атомных ядрах. Мне удалось показать, что сверхтекучее состояние ядра энергетически более выгодно по сравнению с нормальным и что тем самым парные корреляции сверхпроводящего типа должны оказывать сильное влияние на свойства атомных ядер.

Мои статьи, опубликованные в 1958 г., вызвали возражения, сводящиеся к тому, что размеры ядер слишком малы, чтобы в них могли быть парные корреляции. В 1959 г. была опубликована статья А.Б.Мигдала по сверхтекучести в ядрах, в которой использован метод функций Грина в трактовке Л.П.Горькова. В январе 1960 г. на Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии в Харькове А.Б.Мигдал сделал доклад, в котором утверждал, что только его трактовка сверхтекучести в ядрах является правильной. После этого доклада я выступил с утверждением, что в подходах Н.Н.Боголюбова и А.Б.Мигдала используется одно и то же приближение при решении ядерной задачи многих тел. Одинаковым путем выражаются высшие функции Грина, или корреляционные функции, через низшие, что является основой для получения замкнутой системы уравнений. Вместо серьезного обсуждения научной проблемы А.Б.Мигдал сравнил меня с корреспондентом газеты, который по незнанию путает основные физические понятия. В сущности, мне не дали возможности привести доказательство моего утверждения. В этот момент вмешался Б.М.Понтекорво с предложением рассмотреть возникшее противоречие по существу. Это вмешательство не привело к разрешению противоречия, но оно способствовало проведению в дальнейшем научных дискуссий на семинарах и конференциях в более деловой и корректной форме.

В течение многих лет, вплоть до 1970—1975 гг., мы обсуждали с Бруно Максимовичем политические вопросы. В большинстве случаев эти обсуждения велись по его инициативе. Как правило, наше понимание происходящих в стране и мире процессов было сходным.

Я рад, что судьба связала меня с советскими учеными старшего поколения, такими, кроме Б.М.Понтекорво, как Н.Н.Боголюбов, Д.И.Блохинцев, А.С.Давыдов, Б.С.Джелепов, В.П.Джелепов, Л.В.Грошев, Б.В.Курчатов, В.И.Мамасахлитов, М.А.Марков, М.Г.Мещеряков, М.В.Пасечник, И.Я.Померанчук, И.М.Франк, Г.Н.Флеров. Их влияние на мою научную деятельность (думаю, что и на исследования многих ученых моего поколения) велико.

МОИ ВОСПОМИНАНИЯ О БРУНО*

Ф.Бучелла
Неаполитанский университет, Италия

Впервые я увидел Бруно Понтекорво в 1978 г., когда он появился из-за железного занавеса в связи с 70-летием Эдоардо Амальди. Для меня было приятным сюрпризом услышать его исключительно блестящую речь, которая свидетельствовала о том, что он был ведущей личностью в физике элементарных частиц. Другие знакомые мне ученики Ферми, которые очень активно участвовали в развитии физики в Италии или все еще приходили в себя после славного открытия антипротона, в то время скорее принадлежали истории, чем современности в субъядерной физике. Хотя я был знаком с племянником Бруно Эудженио в течение многих лет, мне были известны только его работы о нейтринных осцилляциях.

На том приеме в римском ботаническом саду он переключился после своих лекций, прочитанных на английском языке, на приятный итальянский с тосканским акцентом и шутливо напомнил Джильберто Бернардини о его блестящем заключении, сделанном на собрании, которое заслуживало фермиевского сравнения с Цицероном, но красота которого была потеряна в письменном тексте.

Несколько лет спустя Бруно был представлен в фильме «Парни с улицы Паниперна», посвященном в основном личности Этторе Майораны, чье таинственное исчезновение вдохновило одного знаменитого итальянского романиста.

Я тогда решил пригласить Бруно на симпозиум на Капри. Он ответил, что приедет, если позволит здоровье, и заключил словами: «Будем надеяться на лучшее». Но в тот год он не смог приехать. В следующем году он принял участие в конференции в Толедо, и, когда он вошел в лекционный зал, докладчик Хосе Бернабо обратился к нему со словами: «Добро пожаловать в Испанию, Бруно». В конце конференции выстроилась длинная очередь ученых, желавших пожать ему руку.

Год спустя он появился вместе с Львом Окунем в неаполитанском аэропорту, направляясь на Капри на 10-й симпозиум «Тридцать лет теории элементарных частиц». Он подтвердил предположение многих неаполитанцев, что мороженое в «Циро у Мергеллины» — самое лучшее в мире. Он спросил у молодого физика, что тот думает о Майоране, и получил ответ: «Он миф». Он с энтузиазмом принимал участие в работе симпозиума, всегда окруженный дружеским теплом и уважением участников и их родственников, а в конце выступил с захватывающими воспоминаниями о физике в школе Ферми. Он искренне наслаждался стимулирующей научной атмосферой, а также красотой Капри. Владелец гостиницы, где проходил симпозиум, попросил его поставить автограф в интересной книге «Долгий холод», написанной Мириам Мафай о жизни Бруно.

**Перевод с итальянского Д.Б.Понтекорво.*

© Ф.Бучелла, 1997

Вскоре после Капри мы оказались вместе в Гренаде на нейтринной конференции. Здесь, где впервые был объявлен результат GALLEX, Кирстен посвятил свое выступление Бруно. И здесь в очередной раз я потерял уважение к Глэшоу, который сумел выступить с общим докладом о нейтрино, ни разу даже не упомянув имени Бруно. Джек Штейнбергер, напротив, относился к нему очень дружески. Два года спустя в Корфу, во время выступления с воспоминаниями о начале своей карьеры, Штейнбергер особо отметил статью Бруно, в которой тот, вдохновленный экспериментом Конверси, Панчини и Пиччиони, открыл универсальность слабого взаимодействия и лептонную природу мюона.

В Гренаде мы образовали веселую группу итальянцев, наслаждавшихся очаровательной атмосферой Андалузии, и я помню его воодушевление при посещении Алхамбры и «баррио худио» в Севилье, а также гордость, с которой он вспоминал на вечере фламенко, как он танцевал с самой великой звездой Большого театра.

С тех пор Бруно удостоил меня чести своей дружбы, и я несколько раз посещал его, когда он жил со своей сестрой Лаурой в Риме на улице Борго Пио. Мне дорога светлая память об этих встречах, которые часто заканчивались совместной прогулкой в той части Рима, все еще сохраняющей соблазнительную атмосферу первоначального римского колорита. Однажды он пригласил меня на обед в симпатичное место недалеко от римского Института физики, и для меня было большой честью, когда он представил меня как своего племянника. Я внимательно слушал рассказы Бруно о физике и физиках, его ценные советы, связанные с отношением к научным проблемам; в частности, он высказал простое, но весьма обоснованное утверждение: когда бы ни возникали необычные идеи, нужно всегда думать о том, как проверить их правильность экспериментально.

Он часто говорил о Ферми и о том, что тот недолюбливал эксцентричных людей, а однажды сказал, что очень рациональные люди, наряду с фантазерами, вносят вклад в прогресс науки. Он также вспоминал, как, когда началось абсурдное преследование Оппенгеймера, Ферми сказал: «Теперь, увы, придется говорить в пользу Оппенгеймера».

Бруно говорил также о Сахарове, которого он долгое время считал заблуждавшимся относительно существа вопроса защиты гражданских прав, прежде чем пришел к выводу, что на самом деле он сам не понял истинного положения вещей. Он также признал, что слишком поздно осознал, что «кулаками» были просто усердно работавшие крестьяне.

В разговорах о своем собственном вкладе в физику Бруно всегда проявлял скромность и юмор. Он даже говорил, что некоторые из его открытий были «выше его возможностей». Он любил вспоминать, что Ферми, которого он информировал о своих идеях, связанных с нейтрино, и о пропорциональном счетчике, созданном для проведения соответствующих экспериментальных исследований, заинтересовался только изобретенным техническим устройством.

В апреле 1993 г. я впервые посетил Дубну и имел удовольствие встретиться с его женой Марианной, сыном Джилем (я уже встречался с его сыном Тито в Эриче) и женой Тито Наташей. Я был в доме, где Бруно прожил столько лет, недалеко от Волги, которую он однажды мужественно переплыл с сыновьями, о чем он мне самокритично рассказал, имея в виду тот риск, которому он подверг

своих детей. Я получал удовольствие от акцента Марианны в ее итальянском языке, от теплого гостеприимства Джиля и семьи Тито, который показал мне оба своих конных завода, как действующий, так и еще строящийся. Мои русские коллеги говорили, что своей поддержкой Бруно привнес европейский дух в строительство теннисного корта в Дубне. Бруно оказал сильное положительное влияние в Советском Союзе и своей педагогической деятельностью, о чем можно судить по высокому уровню, достигнутому многими из его учеников.

В мае 1993 г. он снова оказал нам честь своим участием в симпозиуме на Капри, и мы встретились на конференции в Марселе, откуда вместе вернулись в Рим.

Несмотря на короткий срок нашего знакомства, Бруно оказал сильное влияние на меня, а пример его жизни и политической увлеченности еще больше углубил мой интерес к физике.

Я думаю, что давно пора физическому сообществу полностью признать высокий уровень того вклада, который талант экспериментатора и теоретика позволил Бруно внести в обе области исследования значительно раньше других физиков. Его пионерские работы по нейтрино, наряду с открытием универсальности слабых взаимодействий и лептонной природы мюона, делают его одним из величайших ученых нашего столетия. Хотя его нет больше с нами, он должен получить достойное признание, в котором ему было отказано при жизни по не столь благородным мотивам наказания за отъезд на Восток, который, однако, представлял собой всего лишь мужественный поступок, предпринятый в соответствии с собственными убеждениями.

НЕЗАБЫВАЕМЫЕ ВСТРЕЧИ

Т.Л.Асатиани

Ереванский физический институт, Армения

Академик Бруно Максимович Понтекорво был частым гостем ЕрФИ, особенно с удовольствием посещал Арагацкую высокогорную станцию (3200 метров над уровнем моря) и станцию Нор-Амберд (2000 метров над уровнем моря) по исследованию космических лучей.

Он всегда живо интересовался проблемами космических лучей и в последнее время особенно астрофизикой. Первые его приезды относились к концу 50-х — началу 60-х годов. В это время институт, возглавляемый членом-корреспондентом АН СССР, академиком АН Армении А.И.Алиханяном, жил бурной научной жизнью. Регулярно проводились весенние школы по теоретической и экспериментальной физике элементарных частиц, на которых лекции читали выдающиеся ученые мира, в том числе академик Бруно Максимович Понтекорво, а также многие лауреаты Нобелевской премии.

Хорошо помню первую встречу с Бруно Максимовичем в Нор-Амберде, потом в Дубне и последующие частые встречи на международных конференциях, в различных поездках по стране. Конечно, эти встречи производили на меня неизгладимое впечатление, которое он оставлял не только как крупнейший ученый, но и поистине удивительный человек, поразительно простой, внимательный и доброжелательный ко всем. Высшая человеческая доброта и сердечность так и светились в нем. Я никогда не забуду мой первый приезд в Дубну, когда, несмотря на то, что я была еще совсем молодым физиком, а Бруно Максимович всемирно известным ученым, он все же считал своим долгом все мне показать, свести с людьми, с которыми мне надо было обсудить какие-то физические вопросы, и при этом ему еще надо было сбегать домой покормить своих мальчиков. И, несмотря на все тяжести, выпавшие на его жизнь, Б.М. сумел сохранить жизнерадостность, любовь к природе и людям вдали от своей родины, которую он так любил.

Запомнились встречи в Тбилиси на юбилейной сессии, посвященной известному грузинскому физику Г.Чиковани; вспоминаю конференцию по космическим лучам в Мурманске, где он был со своей женой, тогда еще нездоровой, и поражало, с каким вниманием и теплотой он всюду ее сопровождал. Это я наблюдала время от времени и в Дубне.

Мне кажется, что все, кто его знал, не могли не любить и глубоко не уважать этого необыкновенного человека. Поражало, сколько у этого крупного ученого было хобби: подводное плавание, теннис и настольный теннис, в который мы с ним в Ереване с азартом играли в перерывах между совещаниями (и, естественно, я очень гордилась, когда мне удавалось его обыграть).

У меня остались кадры кинопленки, как он демонстрировал тогда еще маленьким моим дочерям свое искусство вертикально, только на задних колесах,

© Т.Л.Асатиани, 1997

кататься на велосипеде. Да, в нем сохранился юношеский заряд, каждое его научное выступление было предельно ясным и интересным. И мне всегда доставляет удовольствие рассказывать на лекциях студентам о его выдающихся работах, в частности, связанных с физикой нейтрино.

Да, удивительно многогранной, на редкость одаренной и духовно богатой личностью являлся Бруно Максимович. Вспоминаю одну из последних встреч с ним, к сожалению, уже больным, на 20-й Международной конференции по космическим лучам в Москве (1987 г.). И в Грузии, и в Армении его с особой любовью вспоминают все, кто был с ним знаком.

Особенную радость мне доставило известие о том, что в Риме и во Флоренции в августе 1995 г. проводится конференция, посвященная памяти Б.М.Понтекорво, Б.Росси и Дж.Оккиалини. Я счастлива, что была приглашена и увидела, как соотечественники ценят его как ученого и человека, вспоминая при этом, как долго он был лишен возможности посещать свою родину, которую так любил.

Я счастлива, что судьба подарила мне возможность частого общения с таким чудесным, необыкновенным человеком, и для меня большая честь, что одним из оппонентов моей докторской диссертации был Б.М.Понтекорво.

БРУНО ПОНТЕКОРВО

В.Е.Цигаль

Художник, член-корреспондент Академии художеств России

Бруно появился в Коктебеле неожиданно и сразу стал своим среди нас, старинных коктебельцев. Он очень взволновал наших дам. Да и как не взволноваться: красив, умен, обаятелен и хорошо воспитан. Со временем узнаем от физиков из Дубны, что Бруно в Италии был чемпионом по теннису какого-то своего родного города. А сам он забавно рассказывал, что ему довелось играть с королем Швеции и король крал у него мячи.

В бухтах под Карадагом Бруно погружается с ружьем на глубину и стреляет кефаль. На нем эластичный облегающий костюм «Калипсо». В костюме тепло под водой. Бруно часами ныряет и только иногда посматривает на ногти пальцев рук. Если посинели, значит, надо немедленно подниматься и отдыхать — может отказать сердце. Можно потерять сознание.

* * *

Бруно оказался еще и страстным грибником. Наш друг, Семен Яковлевич Воропаев, знавший грибные места, водил Мирель* и Бруно по холмам за шампиньонами. А в Дубне у Бруно были свои любимые грибные места, куда он щедро приглашал друзей.

* * *

У нас на горе Тепсень и в Библейской долине бывали урожаи каперсов. Он говорил, что каперсы напоминают ему Италию. А нам с Мирелью юг Италии напоминал своими холмами, горами, морем, маслинами и вином наш Коктебель. Однако какой колоритной палитрой интересов обладал этот неугомонный Бруно!

* * *

Из Фороса, где Бруно жил в санатории, он приезжал специально в нашу «киловую баню». Коктебельская электростанция, стоявшая на берегу, охлаждалась морской водой. Отработанная морская вода поступала в большую трубу. Около трубы находчивые электрики воздвигли будку, поставили ведро с килом. Кил — это местная щелочная серая глина. Ею намазываются как лечебной грязью, дают высохнуть и смывают горячей водой. Вот вся баня! И за все про все — двадцать копеек...

Но не все у него складывалось так безоблачно. Вскоре после приезда из Финляндии в Москву — с женой Марьяной, блондинкой шведкой, и тремя мальчиками — начались сложности. Марьяна заболела тяжелейшей болезнью, и ее

*Мирель Шагинян — художница, жена В.Е.Цигаля.

© В.Е.Цигаль, 1997

периодически отправляли в больницу. Бруно месяцами оставался один с детьми. Но, забегая вперед, скажу, что мальчики благополучно выросли. Старший, Джиль, стал физиком и работает в Дубне. Тито — океанолог и создатель грандиозной конюшни ахалтекинских лошадей, сам наездник. Антонио — инженер и человек с золотыми руками. Его приглашают за рубеж консультантом по сложным техническим вопросам. Джиль холост. Тито и Антонио семейные. Но все это образовалось в течение многих лет.

А теперь вернемся в то лето, когда молодой Бруно только что появился в Коктебеле. Он, этот душа общества, милейший Бруно, вдруг заболел дизентерией. Он жил в деревне, и Мирель пришла его лечить. Как она объяснила волнующимся дамам: я его лечу, как своих детей: сначала литр воды с содой, потом рисовые отвары, бульоны, кисели и все такое. Дамы упрекали ее в легкомыслии — такая ответственность!!! Как ты рискуешь!? Однако Мирель ежедневно носила ему, постельному больному, еду, приготовленную дома. Иногда, при высокой температуре, он бредил и тогда говорил по-итальянски. Но, несмотря на панику среди сопровождавших его охранников, хотевших увезти Бруно в Москву самолетом, и суету и тревоги среди друзей, Бруно, не торопясь, выздоровел. Уезжая, он оставил мне свое подводное ружье. В то время на всю коктебельскую бухту приходилось четыре ружья. Я был счастлив.

* * *

Мирель с Сережей*, тогда еще школьником, поехали в Дубну к Бруно. Он их встретил и повез на машине. Из кустов выскочил пьяный. Резко затормозив, Бруно закричал: «Идиотто!» На итальянский манер: Джотто, Каналетто, Риголетто и т.п. Надо сказать, что он за несколько лет хорошо овладел русским языком, но знание других европейских языков, очевидно, мешало ему отработать чистоту произношения. Он говорил с сильным акцентом до самого конца. Мне кажется, что знание языка — это чувство оттенков значений слова, понимание непереводимой игры слов, возможность оценить богатство и красоту языка. Умение оценить смешное. Бруно овладел этими тонкостями. Очень любил мистификации, розыгрыши, анекдоты. Он же восхищался невероятными способностями к итальянскому языку у Мариэтты Сергеевны Шагинян. Когда она, после трех месяцев изучения, пришла к нему на разговор, он кричал: «Это фантастично!! За три месяца!» Она уехала в Италию писать очерки о заводах «Фиат», а нам писала оттуда, что совершенно свободно ругается с таксистами, как в Москве.

* * *

Из высказываний Бруно-автомобилиста. Как-то в Коктебеле он дал Мирели ключи от своей машины. Она съездила в Феодосию на базар и, вернувшись, сказала, что тормоза не держат.

— Да, я знаю, но хороший водитель тормозами не пользуется!

---

*Сын В.Е.Цигаля, художник.

Он говорил также, что машину мыть не надо. Она должна работать, а не красоваться. Его небрежное отношение к машине кончилось тем, что он забыл в мороз слить воду из радиатора своей «Победы» и рубашку блока разорвало.

Однажды Мирель, Бруно и Джиль выехали из Москвы в Коктебель. Бруно решил:

— Мы с вами будем вести машину днем, а Джиль ночью. У него нет водительских прав, и вообще учиться водить надо ночью. Потому что труднее.

* * *

Говоря о своей работе в Дубне, он заявил: «Я поглупел!» Он объяснил, что там для него нет соответствующей обстановки для дальнейшего совершенствования. Он как ученый опустился и т.д. Это «поглупел», сказанное с акцентом, прозвучало еще резче, чем если бы было сказано чисто по-русски. Мне стало за него обидно. Он обидел мое восторженное представление о нем как о человеке выдающемся. Мне показалось, что он оскорбил, обозвал себя.

Бруно знал, что болезнь Паркинсона влияет на умственные способности. Может быть, и это он имел в виду. Но, к счастью, его голова оставалась здоровой и ясной. Он до самых последних дней трудился над самыми сложными проблемами и удивлял молодых ученых оригинальностью мысли. Мира Васильков говорил, что постоянно чувствовал, что общается с гением, и ловил каждое слово Бруно.

* * *

Когда Бруно исполнилось 70 лет, в Дубне хотели, как полагается, чествовать его, но он отказался от официального юбилея и отпраздновал день своего рождения в доме нашей старинной подруги Амирэджиби Родам. Помню из приглашенных: Сойфертиса и Этту Квитко, Верейских, Ореста и Люсю, Мессерера и Беллу Ахмадулину, Сергея Аполлинарьевича Герасимова и Тамару Макарову, Лиду Акимову, Михаила Вольпина и друзей Бруно из Грузии.

Мы, художники, сделали фотомонтаж с рисунками в виде альбома — папки из разных спортивных журналов на тему: Бруно суперспортсмен, гигант науки. (А он уже давно страдал болезнью Паркинсона.) Название — «Золотое Б.Руно». Журнал художественный, литературный и критический. Специальный выпуск. Москва, 1983. Рисовали и клеили Витя*, Леня** и Орик***.

На первой странице стихи:

Мы так пытались
В строфы
Засунуть Бруно грани,
Увы, мы оказались
На катастрофы грани.
Так многогранен Бруно лик —
Средь человеков он велик.

*В.Е.Цигаль — художник, член-корреспондент Академии художеств.

**Л.В.Сойфертис — художник, член-корреспондент Академии художеств.

***О.Г.Верейский — художник, действительный член Академии художеств.

Из обнаруженных улик
Мы выделяем эту —
К литературному портрету:
Под галстуком, чуть влево, шевелится,
Рубашкой узкою шурша,
Подпрыгивает, веселится
Итало-русская душа.
Диапазон же сей души —
От Леонардо до Левши!

Внизу лавровая ветвь и вокруг стихов автографы всех присутствующих гостей.

На втором листе Святослав Рихтер играет на флейте-дудочке юбилейную кантату.

Следующий лист: Бруно у доски с иероглифами вычислений и он же в шлеме космонавта. Рядом — космическая ракета, уходящая в космос.

А вот Бруно с подводным ружьем. На стреле огромная рыба.

— Рыба, — позвал он тихонько, —
Я с тобой не расстанусь...

(Э.Хемингуэй. Старик и море)

Бруно со штангой, Бруно целуется с дельфином, выскочившим из воды...

Последний лист изображает Папу Римского, коленопреклоненного перед Бруно. Папа преклоняется перед талантом Бруно. (Бруно действительно встречался с Папой в Риме.)

Я так подробно остановился на описании альбома, потому что он очень понравился присутствующим друзьям. Конечно, были подарки. Стол был изысканно сервирован. Вино прислал из Тбилиси Чабуа — брат Родам: в Тбилиси Бруно тоже очень любили. Беседа за столом сверкала остроумием и весельем.

И все же нас угнетало сознание, что Бруно из спортсмена превратился в тяжелобольного. Однако он юмором заслонял от нас свое тяжелое состояние. А перед самым вечером накачался лекарствами, и Паркинсон отпустил его на несколько часов.

Мне приходилось бывать и жить на Кавказе неоднократно. Там праздничный стол — это повод для почти театрального действа, это мистерия, это поток панегириков от тамады к каждому гостю. Когда меня или моего соседа по столу хвалят, захлебываются похвалами в превосходных степенях, то я понимаю, что это ритуал, это форма общения. Очень приятная форма. Но для Родам это другое. Мы дружим уже более полувека. И если Родочка говорит, что мы «ее родные и очень любимы» ею, то, несмотря на то, что Родам настоящая грузинка, и притом грузинка царского рода, мы знаем, что это не пышные слова, а истинная правда. Потому что Родам не просто говорит, чтобы было приятно сидеть за столом, а она верит, что мы красивые, умные и невероятно талантливые. И мы начинаем соглашаться, что это так, хотя бы на сегодняшний вечер. Дом Родам всегда был красивым и притягательным. Там всегда уютно, просто, и там тебя действительно трогательно любят.

Родам была, говорю это для потомков, так царственно красива, так добра, так искренне, наивно и весело смеялась от радости общения, что друзья расцветали в

ее присутствии. И этой московской красавице повезло в жизни. Ее жизнь прошла рядом с такими выдающимися людьми, как Михаил Светлов и Бруно Понтекорво.

* * *

Встречи в Риме. Сеньора Шильтян, вдова художника Григорио Шильтяна, родственника Мирели, пригласила нас в Рим. Тетя Лиля поместила нас в гостиницу на пьяцца Венеция в самом центре. Мы еще в Москве сговорились с Бруно, что встретимся в Риме. Когда мы позвонили ему, он сказал, что так плохо себя чувствует, что даже говорить не может. Назначили день, когда позвонить снова. Мы огорчились за него и не позвонили в назначенный день. Решили его не беспокоить. А он, оказывается, к этому дню приготовил для нас большую программу. Все сорвалось. С опозданием на несколько дней мы все же позвонили, он снова заказал машину на целый день и повез нас в Орвието. Это один из изумительных городков средневековья, прилепившихся высоко в горах. Крохотный город-крепость, он же в древности и отдельное государство. Поэтому на центральной Миланской площади стоит грандиозный мраморный собор. От средних веков, через ренессанс, до восемнадцатого века он перестраивался, жил, видел сражения и вышел из истории к нашим дням изумительным творением итальянского гения. Улички с подъемами, и спусками, и тупичками стекались к костелу как символу силы и красоты.

С жары на площади мы вошли в холодный полумрак гиганта-собора и сразу надели свитеры. Тихо бродили, переходя от примет одной эпохи к приметам другой, третьей. Бруно интересно рассказывал об истории храма. Со вкусом и знанием оценивал стили разных построек и предметов храма. Мне казалось, что он гордится своей ролью хозяина.

Казалось, что он и есть хозяин этого собора, Орвието и всей Италии. Я увидел Бруно у него дома. Этот очаровательный человек был дома в этой изумительной Италии.

Еще с утра, перед выездом из Рима, Бруно плохо себя чувствовал. Он просил нас подождать несколько минут, пока он примет лекарство, погуляет и успокоится. Весь день, довольно утомительный, он чувствовал себя прилично и был превосходным гидом по городу. В Орвието в парке есть колодец, построенный братьями де Сангалло в XVI веке. Он находится на самом высоком месте и был главным источником при·осадах города.

Мы спустились по широким каменным ступеням на глубину восьмиэтажного дома. Слабый свет падал сверху. Ступени освещались маленькими лампочками. Внизу была прозрачная вода, железный мостик над ней и куча всевозможных монеток со всего мира в воде. Так туристы отмечаются здесь. Бруно, за которого мы беспокоились, отлично спустился до самого дна. Мы немного отдохнули в сыроватом сумраке у воды, поболтали и легко поднялись наверх. Затем он повел нас в старинный ресторанчик. Пообедали, и Бруно купил большой твердый торт, который готовят здесь по рецепту, существующему уже триста лет. С этим тортом мы поспешили обратно в сторону Рима, но, не доезжая до города, остановились на крохотной пьяцетте с обязательным фонтанчиком, окруженной высокими домами. Рядом стоит лошадь, тут же колоритная толпа. Это местный «клуб».

Ровно в пять часов вечера Бруно позвонил у входа в палаццо шестнадцатого века. Это дом кинорежиссера Де Сантиса. Он нас ждал и сам открыл дверь.

Небольшого роста, живой, подвижный. Мог бы быть любым из «клуба» на площади. Де Сантис приобрел это палаццо за гроши, но с обязательством постоянно ремонтировать и сохранять этот памятник архитектуры. Дом в несколько этажей. Сверху видны далекие окрестности. Крыша плоская. Под навесами стоят мраморные или из песчаника статуи. Есть большой мангал для шашлыков. Интерьер Де Сантис приспособил под современную квартиру, музей и рабочие кабинеты. Он объяснил, что любит работать в разных кабинетах, где у него навалены рулоны, чертежи, книги.

Ванная комната представляет собой зал, где посредине в полу утоплена роскошная ванна, а по стенам стоят перенесенные на холст фрески XV века! Купайся и любуйся! Я поинтересовался, не портятся ли фрески от сырости? Нет! Но реставраторы перенесли их на холст. Говорят, так будет сохраннее. Возможно. Другие интерьеры и переходы на разных этажах заполнены произведениями искусства: картинами, посудой и русскими иконостасами с обрамлением ажурной позолоченной резьбой. Отдельно, в киотах, расставлены петровские, екатерининские и другие русские бокалы и штофы. Есть хорошие иконы. Бруно опять стало худо, но он делал вид, что все в порядке, хотя от кофе отказался, руки его так тряслись, что он не мог держать чашку. Переводя нашу беседу с Де Сантисом, он иногда путал и обращался к нам по-итальянски, а к Де Сантису — по-русски. Но как же вся эта русская старина, вся эта красота оказалась здесь? А просто: бывал в Москве и собирал эту огромную коллекцию.

Приехала с работы жена — Гордана. Она актриса. Работает в Риме. Рослая красивая югославка, обратилась к нам по-русски и повела в свою комнату с низким потолком, всю тесно завешанную русской графикой XIX—XX веков. Есть «имена». Некоторые вещи, на наш взгляд, не подлинные, спорные, но коллекция интересная. Тамара Федоровна Макарова* уже в Москве сказала нам, что помогала Гордане собирать эту графику.

Очарованные, переполненные впечатлениями, тепло распрощавшись, уехали в Рим. Дорога вечером невероятно загружена. Наш водитель — русский — советовался с Бруно, какой путь выбрать. Как известно, все дороги ведут в Рим. Но та, по которой мы возвращались, была страшно загазована, и ползли мы по ней шажком.

* * *

Через год мы снова прилетели в Рим. Бруно приехал к нам на академическую дачу Абамелека Лазарева. Приехал с сестрой Лаурой. Лаура оказалась очаровательной, милой женщиной. Бруно помогал нам общаться, но почти ничего не говоря, мы сразу почувствовали к ней симпатию. Наши взаимные улыбки, казалось, наговорили больше, чем слова. В этот раз Бруно прилетел из Москвы со сломанной ногой. Итальянские врачи его вылечили. Он уже ходил. Как всегда, он не мог без игры.

---

*Известная советская кинозвезда.

— Смотрите, фокус!

Став на больную ногу, он поставил на носок здоровой ноги палку и стал ею балансировать. Так он продемонстрировал, насколько прочно его вылечили и какой он жонглер. На даче Абамелека при посольстве Советского Союза тогда был врач (фамилия, кажется, Яковлев). Бруно его очень высоко ценил и, бывая в Риме, постоянно у него консультировался.

* * *

24 сентября позвонил нам старинный приятель, физик из Дубны Мира Васильков и сообщил, что Бруно Максимович умер. В таких случаях от шока цепенеешь. Сознание не хочет принять, оно отталкивает эту новость. Но в назначенный день мы собрались ехать на кремацию. Однако наш сын Сережа не смог приехать за нами. Везде милиция перекрыла проезды. А вскоре начались события, называемые теперь «события 3—4 октября». По телевизору мы видели стрельбу из танка по Белому дому и нападение на телецентр «Останкино». А всю ночь стреляли и на Арбате, и в наших переулках.

Бруно нас простит. Мы поедем в Дубну, где он похоронен.

* * *

7 февраля 1995 г. мы с Мирелью приехали в Дубну. Нас встречали друзья Бруно, сыновья, ученые, работавшие с ним. Его не только глубоко уважали — его любили, в него были влюблены мужчины и женщины. Все, как в Коктебеле, Москве, Тбилиси, да и везде, где бы он ни появлялся. Нам показали его кабинет, который хотят сохранить как мемориальный музей. Заказали его портрет в галерею портретов великих ученых, украшающих конференц-зал в лаборатории. Нам подарили монографию о Понтекорво и кучу фотографий. Все, кто с ним работал в течение сорока лет, рассказывали о нем как о гениальном ученом и пытались нам, неграмотным в науке, втолковать о его великих заслугах в области изучения «нейтрино». Это непонятное нам слово означает очень много в ядерной физике. Каждый сотрудник буквально сиял, стремясь рассказать, какой это был удивительный человек и товарищ.

Нас возили по Дубне, показали ускоритель. Затем нас поручили сыновьям Бруно. Мы вошли в двухэтажный коттедж с садом, где Бруно жил с семьей. Посмотрели, потрогали его стол, книги, кровать. Сейчас там живет старший сын Джиль.

Нас повезли на могилу Бруно. В ограде было много снега и маленькая железная пластинка с надписью. Мирель воткнула в снег несколько красных гвоздик в разные места. Мы постояли. Тито рассказал, какое надгробие он заказал отцу. Помолчали и пошли к машине.

Прах Константина Симонова развеяли над Курской дугой.

Прах Фридриха Энгельса выстрелили из пушки в море.

Прах писателя-моряка Александра Миронова захоронен на дне Коктебельской бухты.

Прах Бруно Понтекорво разделили. Часть захоронена в Дубне, где он прожил сорок лет и где находятся его жена и дети, а часть увезена в Италию, где живут

его братья и сестры. Символично. Бруно Понтекорво приумножил славу Италии и России.

* * *

Началась посмертная жизнь ученого, исследователя международного масштаба Бруно Понтекорво.

Широко известно, что Бруно Понтекорво был гениальным ученым. Но он был еще и отцом трех интереснейших сыновей. Джиль и Антонио работают в науке и технике, и поэтому я не могу сказать о них что-нибудь свое, а не со слов других. О них говорят, что они достойны своего великого отца. А Тито занят близким и понятным мне делом: он, океанолог по образованию, стал фермером — разводит элитных коней, а я с детства люблю и рисую коней. Поэтому когда мы с Мирелью попали в новую конюшню недалеко от Дубны и перед нами выводили на манеж ахалтекинских чудо-лошадок и великолепных производителей, а Тито рассказал, как он начал с покупки первой бракованной кобылы, для которой он своими руками построил сарай, и потом за пятнадцать лет создал огромный комплекс на сто шестьдесят лошадей, — мы не могли не прийти в восторг. При конюшне дом и гостиница для покупателей. При конюшне разводят коз, сторожевых собак, кур. Своя электростанция. Ангар для своего накошенного сена. Пробурены артезианские скважины. Но хватит перечислять. Важно другое. Все время думаешь: не может быть! Ах, как здорово! Однако не только может быть, а уже есть. Несмотря на поджоги, ограбления, избиения и всевозможные зверские вредительства — есть конюшня! Мы стоим в центре закрытого теплого манежа, а вокруг нас проносятся галопом застоявшиеся красавицы — молодые кобылы. Они, как девушки, чисты, полны жизни, грации, легкомыслия и беспечности. Им весело. Они резвятся. Вдруг ложатся на спину и перекатываются по опилкам, болтая ногами в воздухе, как дети на пляже.

И всех их вырастил один невысокого роста человек. Он живо рассказывает и доверчиво и озорно улыбается, как мальчишка. Сам проектировщик постройки, сам ветеринар, повивальная бабка, селекционер, экономист и дипломат (в борьбе с местным начальством). Сам представляет конеферму «Понтекорво». Сам продает коней за границу. И он — сын Бруно.

ПОСЛЕ ОТТЕПЕЛИ — НОСТАЛЬГИЯ*

Н.Кабиббо

Президент Комиссии по ядерным и альтернативным источникам энергии, Италия

Последний раз я видел Бруно Понтекорво летом во время презентации собрания реликвий, связанных непосредственно с именем Ферми, в зале Института физики Римского университета «La Sapienza». Среди приборов, использованных в первых исследованиях в области физики атомного ядра, была и знаменитая фотография «парней с улицы Панисперна»: Ферми, Разетти, Сегре, Амальди, химика Д'Агостино. Я всегда задавался вопросом, почему Бруно Понтекорво, «щенок», как его ласково называли коллеги, отсутствовал на фотографии... Ответ оказался очень прост: фотография была сделана им самим.

Бруно Понтекорво умер несколько дней назад в возрасте восьмидесяти лет в Дубне, городе-лаборатории на берегу Волги, в окрестности Москвы, где он жил и работал с конца 1950 г. Обстоятельства его исчезновения с Запада, его решения продолжить работу на родине коммунизма, отчасти остались тайной. Этой теме и жизни Бруно Понтекорво посвящена прекрасная книга Мириам Мафай «Долгий холод», опубликованная в прошлом году в издательстве Мондадори. Родилось два мифа: первый утверждал, что Понтекорво передал СССР секрет атомной бомбы, и второй — что он явился отцом советской термоядерной бомбы. Мифы маловероятны и, по существу, развеяны тем, что мы узнали в последние годы о ядерной программе СССР. Что касается первого, Бруно никогда не делал секрета из своей приверженности коммунистической идее, и именно по этой причине его держали далеко от лабораторий Лос-Аламоса и от центра американской ядерной программы. Что касается второго мифа, мы сегодня хорошо знаем, что в действительности отцами советской водородной бомбы были другие, такие ученые первой величины, как Андрей Сахаров и Яков Зельдович. В России, так же как и в Соединенных Штатах, Понтекорво был за пределами наиболее секретных исследований — в Дубне вместо Арзамаса, который был эквивалентом Лос-Аламоса.

Я посетил Дубну в 1964 г. во время международной конференции по физике высоких энергий. Лаборатория расположена на берегу Волги и, как все в те времена в Советском Союзе, находилась под наблюдением, но не была секретной, поскольку Дубна была в некотором смысле открытой для международного сотрудничества, хоть и ограниченного государствами коммунистического мира. Дубна хотела быть ЦЕРНом государств Востока, и в течение короткого времени ее ускоритель — синхрофазотрон — был лучше, чем машины, доступные на Западе. Но уже в 1964 г. лаборатория в Дубне отстала от таких западных лабораторий, как ЦЕРН в Европе или Брукхейвен в Соединенных Штатах. Было отставание в

*«Мессаджеро», 26 сентября 1993 г. — *Перевод с итальянского Д Б.Понтекорво.*

области электронного оборудования и компьютеров, которое с годами усиливалось.

Как раз тогда я впервые встретился с Бруно Понтекорво. Ему было пятьдесят лет. Элегантный. Загорелый. На меня произвело впечатление то удовольствие, с каким он вел оживленные беседы с Джильберто Бернардини, и как оба говорили с превосходным тосканским акцентом. Несмотря на его отличную физическую форму, у меня осталось впечатление изнуряющей ностальгии. Отношения между сверхдержавами уже развивались в сторону потепления, часто можно было видеть русских исследователей в ЦЕРН и в других западных лабораториях, да и европейские исследователи были допущены в университеты и лаборатории Советского Союза, но для Понтекорво, решившего переехать в Россию, даже короткий визит казался несбыточной мечтой.

Бруно Понтекорво впервые вернулся в Италию в 1978 г. на празднование семидесятилетия Эдоардо Амальди. Этот первый визит был воспринят как сенсация общественным мнением, внимание которого быстро спало. В последующие годы поездки стали регулярными и Понтекорво имел возможность проводить часть времени в Риме, среди своих братьев и сестер (среди которых кинорежиссер Джилло Понтекорво). К этому времени его здоровье было подточено болезнью Паркинсона, которая сначала просто досаждала, но постепенно становилась все более серьезной. Он приезжал в Рим лечиться, но также и работать. Он усердно посещал семинары и конференции и всегда удостаивался внимания, которого заслуживают великие люди науки.

Имя Бруно Понтекорво неразрывно связано с физикой нейтрино, неуловимой частицей, которую Ферми поместил в центр своей теории бета-радиоактивности. Нейтрино столь слабо взаимодействуют с другими формами материи, что нейтрино, рожденные в центре Солнца, способны пролететь через Солнце и Землю без малейшего уменьшения их потока. Изобретением метода, основанного на превращении хлора в аргон, для обнаружения нейтрино, испущенных Солнцем, мы обязаны Понтекорво, опубликовавшему статью в 1949 г. — в то время он работал в лаборатории в Чок-Ривере в Канаде. Именно этот метод был применен Р.Дэвисом много лет спустя для наблюдения солнечных нейтрино. Одна из модификаций метода Понтекорво позволила, также впервые, провести наблюдение нейтрино, рожденных в ядерном реакторе, а еще один вариант его метода лежит в основе экспериментов, проводимых в лаборатории Гран-Сассо с солнечными нейтрино.

В 1959 г. вторая пионерская работа Понтекорво открыла путь исследованиям нейтрино, полученных на ускорителях при высоких энергиях. В той же работе Понтекорво выдвинул гипотезу о существовании более одного сорта нейтрино; это была пророческая гипотеза, подтвержденная несколько лет спустя в лабораториях Брукхейвена открытием, за которое была присуждена Нобелевская премия Ледерману, Шварцу и Штейнбергеру.

Последнее предсказание Понтекорво еще не получило подтверждения, но в настоящее время оно является предметом интенсивных исследований, активно проводимых в важнейших лабораториях мира. Речь идет о гипотезе, согласно ко-

торой нейтрино разных сортов должны быть способны спонтанно превращаться друг в друга — это явление получило название «нейтринных осцилляций».

Со смертью Понтекорво мы потеряли одного из великих ученых этого столетия, одного из пионеров физики высоких энергий. Его вклад не ограничивается только изучением нейтрино, но распространяется на многие стороны физики частиц, от мюонов до странных частиц, и связан также с результатами, представляющими большой практический интерес, как например использование нейтронов в разведке нефти.

Несколько месяцев назад после совещания в Академии деи Линчеи я провожал его домой — под тень собора Сан-Пьетро. Я его спросил: «Что собираешься делать, поедешь в Дубну? В Риме жарко». Он пожал плечами и ответил: «Все равно весной я вернусь».

ОТКРЫТАЯ БИБЛИЯ В РУССКОЙ ЛАБОРАТОРИИ*

У.Амальди

Миланский университет, Италия

Мне всегда казалось, что Бруно Понтекорво принадлежал к довольно расплывчатому кругу людей, заполнивших мои первые детские воспоминания, хотя возможно, что на них наложились впечатления, полученные мною в более поздние годы. Действительно, мои родители много о нем говорили во время и сразу после войны, и не только как о большом сердечном друге. Большие поклонники спорта, они в особенности вспоминали отличного теннисиста: все друзья считали его выдающейся личностью в этой области, даже если впоследствии Энрико Ферми не удавалось скрывать раздражение при проигрыше.

Помню, что исчезновение за железный занавес вызвало в Эдоардо Амальди полное замешательство. Убежденный в том, что Бруно взял с собой только научные знания, авторитет и ум, но никак не важные военные секреты, он не мог понять причины столь радикального и необратимого шага. Он верил, что в конце концов найдет разумное объяснение «изобретательности» «щенка» из группы парней с улицы Панисперна. Недостаточно критичный в вопросах ненаучных, Бруно Понтекорво выработал искаженное видение советского коммунизма, будучи также под влиянием личности и идей французского физика Жолио-Кюри, с которым он работал непосредственно перед войной.

В 1978 г. газеты были снова полны сообщений, связанных с именем Понтекорво: он впервые возвращался в Италию для участия в праздновании семидесятилетия своего старого друга Эдоардо Амальди. Он уже болел, хоть и в легкой форме, болезнью Паркинсона, но его интеллект, живость ума, а также легкий акцент уроженца Тосканы не оставили его. По понятным причинам он избегал отвечать на многочисленные вопросы журналистов. Но, что менее естественно, он также мало обсуждал произошедшее с Эдоардо Амальди, который избегал задавать слишком прямые вопросы по поводу шага, предпринятого четверть века назад, или касающиеся тогдашнего отношения Понтекорво к коммунистическому режиму. Тем не менее отношения между двумя людьми, которые несколько раз виделись в СССР, всегда оставались, как и прежде, сердечными и одновременно сдержанными. Совсем другим было отношение Эмилио Сегре, который так и не возобновил контактов со старым другом.

Последний раз я встречался с Бруно Понтекорво в России, примерно год назад, в Дубне, в лаборатории, в создании которой был и его вклад. У нас была интересная научная встреча, где я представил последние результаты, полученные в ЦЕРН (Женева), и, когда уже стемнело, мы пошли в сторону его дома с другими друзьями. Он шагал неуверенно, в частности из-за большого количества луж, но

---

*«Коррьере делла сера», 26 сентября 1993 г. — *Перевод с итальянского Д.Б.Понтекорво*

его ум живо и весьма внимательно реагировал на обсуждаемые вопросы, в особенности о множестве тайн, все еще скрываемых частицами, называемыми нейтрино, в изучение которых он вложил столько времени и энергии. Кстати, результаты, полученные в последние годы, указывают на то, что эти частицы, вероятно, ведут себя так, как он предсказывал почти сорок лет тому назад.

Гостиная в его доме была в беспорядке; стол был завален различными предметами и бумагами. Я заметил, что среди прочих вещей была открытая Библия, и задал ему вопрос. «Разумеется, я всегда читаю Библию», — ответил он. Я и сегодня сожалею о том, что у него не было желания или решимости поговорить об этом подробнее...

ХИРОСИМА НИКОГДА НЕ ДОЛЖНА ПОВТОРИТЬСЯ*

П.Стролин

Неаполитанский университет, Италия

Я не принадлежу к поколению физиков, знавших Понтекорво во времена улицы Панисперна; я принадлежу к тому обществу, которое после войны слышало о его «исчезновении» (так тогда казалось) в Советском Союзе и обо всех вопросах, связанных с возможной передачей научных и других секретов; так или иначе нужно подчеркнуть, что был нанесен серьезный удар по гордости западных стран. Впоследствии я стал физиком, и моя профессия позволила мне узнать о его деятельности, а потом и познакомиться с ним лично, после чего я увидел его в совсем ином свете. Многим же события, связанные с ним, все еще представляются покрытыми тайной.

Прежде чем обратиться в этом взволнованном воспоминании к событиям, приведшим к нашему знакомству, нужно отметить, что согласно авторитетным свидетельствам он, по всей видимости, никаких ядерных секретов с собой не взял: в то время его работа касалась космических лучей. «Аномалия» западного ученого, мигрирующего в сторону Советского Союза, должна рассматриваться с точки зрения значительно более сложной, чем точка зрения политической приверженности и возможного шпионажа, которая навязывалась обществу в ту эпоху большой международной напряженности.

Чтобы понять, насколько неоднозначным было положение специалиста по ядерной физике после Хиросимы и Нагасаки, и, соответственно, чтобы увидеть другой возможный аспект вопроса, процитирую отрывок из дневников Эдоардо Амальди. Он приводит случай, который не похож, но, возможно (это только мое собственное предположение), имеет некоторые не слишком отличающиеся корни.

«В то время мы провели встречу, на которой решили прервать всякие исследования, связанные с делением, и направить ограниченные человеческие возможности, имеющиеся в нашем распоряжении, на решение совершенно иных проблем. Причиной такого решения было убеждение, к которому мы пришли, что любая задача, имеющая отношение к делению, могла стать интересной с точки зрения создания оружия, а мы не желали оказаться вовлеченными в работу такого рода».

Что касается лично меня, то мое восприятие Понтекорво значительно отличалось от восприятия широкой публики в начале семидесятых годов, когда я был приглашен в Дубну (аналог ЦЕРНа в Советском Союзе) на семинар по физике. В те дни Понтекорво не было в Дубне, но, что поразительно, я все время чувствовал его присутствие; оно постоянно ощущалось через влияние его личности Человека, Ученого и Учителя. Как говорил Эдоардо Амальди, где бы ни появлялся Понтекорво, он был выдающимся послом Италии. Так было и в Советском Союзе. Я напомню ма-

*«Иль Маттино», 26 сентября 1993 г. — *Перевод с итальянского Д Б.Понтекорво.*

лоизвестный, вероятно, аспект, относящийся к стилю жизни членов группы с улицы Панисперна, которые были очень тесно связаны друг с другом как в научной работе, так и вне ее, особенно в спорте. Бруно Понтекорво был одним из пионеров подводного спорта в Советском Союзе, послом Италии и в этой деятельности.

Мое личное знакомство с Бруно Понтекорво произошло, когда он вернулся в Италию, уже имея болезнь Паркинсона: как изменилось его физическое состояние по сравнению с фотографией, показанной мне в Дубне, на которой был запечатлен атлетически сложенный человек, активно занимающийся подводной охотой! Но какая поразительная ясность и научная глубина! Я его встречал на научных семинарах. Его присутствие было удивительно. Кто не знал его и видел, как он входил, и те усилия, которые дрожь, вызванная болезнью, заставляла его прилагать для участия в семинаре, бывал поражен его вопросами. Они всегда вскрывали существо проблемы с простотой и глубиной самой истины. Слишком часто сегодня в науке ограничиваются пространными рассуждениями, пропуская фундаментальные вещи, обходя науку ради науки. Его вопросы служили большим уроком моральным, а не только научным.

Я не смог приехать в университет в Ферраре, когда ему было присвоено почетное звание honoris causa. Я написал ему, и в ответ он прислал мне приглашение, хранимое мной и вызывающее осязаемый образ человека. Совсем простой лист рукописного текста, но сколько тепла и уважения в небольшом количестве слов...

В заключение два слова о физике, связывающей Понтекорво и физиков Неаполя. Более двадцати лет тому назад Бруно Понтекорво высказал гипотезу о так называемом явлении «осцилляций нейтрино», связанном с их ненулевой массой, в отличие от нулевой массы, принятой во всех современных теориях. Важность этого явления и его следствий в физике не перестает расти с тех пор, и предпринимаются трудные эксперименты для его подтверждения. На это направлено измерение потока солнечных нейтрино в Национальной лаборатории Гран-Сассо, а также эксперимент, в подготовку которого на пучке нейтрино в ЦЕРН (Женева) вносит свой вклад группа из Неаполя. Все это служит волнующим свидетельством уважения памяти Бруно Понтекорво.

СЛОВА ПРОЩАНИЯ*

Дж.Сальвини:

Наш дорогой Бруно, я приветствую тебя от имени всех нас и в особенности от имени тех великих учителей, к числу которых мы, ученые-физики всех уголков Земли, тебя относим.

Это поклоны Эдоардо Амальди, Энрико Ферми и твоих друзей с улицы Панисперна — Разетти, Сегре, Д'Агостино.

Прошедший 1993 год стал свидетелем ухода трех наших Великих: Бруно Росси, Джузеппе Оккиалини и Бруно Понтекорво.

В этом есть нечто, что глубоко трогает: умелец такого громадного масштаба, как Бруно Росси; гений новых инструментов, мастер чудесных отмычек науки, как Джузеппе Оккиалини; и ты, собравший свет, которым Ферми осветил слабые, или фермиевские, взаимодействия, и проникший с его помощью в глубь природы нейтрино, тех лучей, которые как никакие другие соединяют самые отдаленные точки Вселенной.

Весной 1995 г. мы посвятим несколько дней съезда во Флоренции обсуждению сегодняшнего дня тех научных проблем, в решении которых вы продвигались. Этот съезд будет посвящен вам — трем Великим, ушедшим от нас. Мы будем говорить о вашем прошлом, но больше о том, что мы сделаем в будущем на пути, соединяющем нас с вами.

Вместе с ними ты оказал честь науке, и ты даешь нам почувствовать, что наша мысль летит над нами самими. Объединенные верой в то, что мысль, любопытство, знание являются благом, мы собрались здесь, чтобы услышать и получить от тебя то, что зачеркнуть в нас будет невозможно и что навечно останется с нами в нашем движении вперед на планете.

И мы благодарим тебя здесь за все то, что ты нам дал.

К.Бернардини:

Позвольте мне прочесть перевод короткого отрывка из историко-научного рассказа, опубликованного Эдоардо Амальди в 1984 г. в журнале «Physics Reports»:

«В работе, опубликованной группой Ферми в журнале «Proceedings of the Royal Society» (1934), активность различных искусственных радиоактивных элементов оценивалась только качественно, как сильная, средняя или слабая. Ясно, что такая классификация была неудовлетворительной. По этой причине примерно в середине сентября 1934 г. мы приняли решение определить количественную шкалу активности, которая временно могла быть выражена в относительных единицах. Эта работа была поручена мне и Бруно Понтекорво, одному из наших лучших студентов, получившему (в возрасте 21 года) диплом в июле 1934 г. и который после летних каникул вошел в наш коллектив. Мы начали с изучения условий облучения, наиболее подходящих с точки зрения получения воспроизво-

---

*Слова прощания, произнесенные 12 июля 1994 г. на кладбище Al Testaccio в Риме. — *Перевод с итальянского Д.Б.Понтекорво.*

димых результатов. В этой части работы мы использовали радиоактивное серебро с периодом полураспада, равным 2,3 минуты. Однако тут же возникли некоторые трудности, поскольку сразу стало ясно, что степень активизации зависела от условий облучения. В частности, в темной комнате, где мы обычно проводили облучение нейтронами, рядом со спектрометром находились деревянные столы, обладавшие чудесными свойствами. Как случайно заметил Понтекорво, серебро, облучаемое на этих столах, становилось более активным, чем серебро, облучаемое на столах из мрамора, находившихся в той же комнате. Эти результаты, доложенные Ферми и остальным членам группы, подверглись дружеской, но сильной критике Разетти, который с насмешкой утверждал, что мы с Понтекорво не были способны выполнить ясные и воспроизводимые измерения».

Перевод с английского мой: он точен, хотя, возможно, не изящен. Присутствующие здесь физики распознают в этом рассказе Амальди первые признаки явлений, приведших спустя несколько лет к последствиям, которые в то время предсказать было невозможно; друзья Бруно узнают в нем неизменного парня с улицы Панисперна, решительно настроенного хорошенько обмозговать то, что он увидел и измерил уже в двадцать один год, но только после возвращения из отпуска (во время которого он, вероятно, доводил себя до изнеможения игрой в теннис).

Я познакомился с Понтекорво много лет спустя в Дубне, в 1963 г. Потом мы снова увиделись в Риме, после некоторых случайных встреч на конференциях в Советском Союзе. Со временем я стал понимать, что он почти всегда интуитивно предугадывал результаты, которые еще не были окончательными: возможно, способность слишком рано приходить к правильному выводу была его недостатком, поскольку экзотические идеи — например, идеи Бруно о нейтрино — часто с трудом пробивают себе дорогу в консервативной среде, каковой является окружение физиков. Величие Бруно было признано, разумеется, но оно требовало подтверждения в применениях, особенно там, где он шел кратчайшим путем и обходил детали того, о чем говорил. В общем, он был идеальным гибридом экспериментатора и теоретика, что, увы, больше никогда не встречается.

О себе он говорил скромно, недооценка была у него в крови. Он совершал совершенно сумасшедшие поступки, как, например, переезды с одного места в другое, как будто в этом ничего особенного не было, хотя он уже страдал достаточно заметным синдромом Паркинсона. Недавно он оседлал велосипед и проехал совсем немного, прежде чем разбил себе кости. Но он не смог бы выдержать необходимость быть вдалеке от Института физики, полного друзей и вестей о происходящем вокруг в мире.

В июле 1993 г. я провожал его домой на лето, как уже делал несколько лет. Мы совсем было привыкли к некоторой неустойчивости в его походке и, как он нас просил, уже не очень обращали на это внимание... Вернулся он к нам только сегодня...

Д.Фарджион:

Год 1993-й завершился уходом 24 сентября, застенчивым и тихим, как сама его личность, итальянского физика Бруно Понтекорво.

Это он, самый молодой, «щенок», первый, как впоследствии и Энрико Ферми с сотрудниками (Амальди, Сегре, Д'Агостино, Разетти, Вик), осознал удивитель-

ную роль материала стола (действительно, он влиял на эффективность эксперимента..., и ему не поверили...), на котором выполнялись самые первые эксперименты с радиоактивностью, наведенной нейтронами, и тем самым открыл ключевую роль замедления нейтронов в делении ядер, произведенном группой с улицы Панисперна в 1934 г., как раз примерно 60 лет тому назад.

Следуя революционным идеям Паули и Ферми, он первым осознал важную роль, которую играют нейтрино, — «нейтральные младшие братья» электронов — в структуре элементарных частиц, пророчески распространив эту роль на все лептоны (в особенности на мюон Конверси, Панчини, Пиччиони).

Далее, распространив идеи смешивания кварков (предложенные Н.Кабиббо) на нейтрино с массой, он выдвинул гипотезу об их осцилляциях, имеющих важные последствия для физики солнечных нейтрино. Его предсказания и предложенные им экспериментальные методики (использующие галлий или германий) были и остаются основой для тонких экспериментов, проводимых в США и Италии, в лаборатории Гран-Сассо.

Он был одним из пионеров исследования роли нейтрино в звездах и в самой эволюции Вселенной. Их «вес» всегда важен для формирования галактик и в космологии последних тридцати лет. Во время и сразу после войны, когда перед Бруно Понтекорво встал социальный вопрос отношения к более слабому, он очень оригинально решил его, отдавшись всецело идеалистическому мифу коммунизма: цену он начал платить немедленно и продолжал это делать в течение всей жизни. Без всякого лицемерия и страха он отправился в 1950 г. и провел большую часть жизни в СССР, осознав слишком поздно бессилие идеологии над человеком и хорошо скрытое существо той самой диктатуры.

Его выбор, возможно, оказался способом возврата евреем и свободным человеком части исторического долга Европы и Запада (даже если в настоящее время наблюдается потеря памяти) стране, которая ценой десятков миллионов погибших сумела остановить нацизм.

Напротив, в сегодняшней объединенной Германии, где почти нет больше разговоров о безобразиях, совершенных против человеческих существ (даже если они назывались «беженцами»), и в Европе, которая либо проявляет безразличие, либо играет роль соучастника в связи со страданиями Сараево и Боснии и перед лицом распада стран Востока, его призыв к любви и уважению к слабым все более актуален. При нашей первой встрече он мне (или себе) объяснял извращения «социалистического» режима в СССР «недооценкой инерции народов в Истории...». Будем надеяться, что он был слишком пессимистически настроен и что История не повторится.

Он, как сабинянин, уходит со сцены без шума, сохраняя свое человеческое достоинство. К сожалению, наш департамент никак не отметил его очевидную связь с нашей страной и римской школой.

Помня его страсть в науке и его любовь к жизни, мы и сегодня можем все заключить его собственными словами, что «социализм потерпел неудачу, но требование справедливости в мире остается...».

Приложения

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БРУНО ПОНТЕКОРВО

1913, 22 августа	Родился в г.Пизе (Италия).
1929	Поступает на инженерный факультет Университета в г.Пизе.
1931	Знакомится с Энрико Ферми и переходит на третий курс физико-математического факультета Римского университета.
1933	Оканчивает Римский университет.
1931—1936	Работает в Римском университете в группе Э.Ферми. Участвует в исследованиях замедления нейтронов и захвата медленных нейтронов ядрами различных элементов.
1936	Получает премию Министерства национального образования для стажировки за границей и направляется на работу во Францию.
1936—1940	Работает с Ф.Жолио-Кюри в Институте радия (Париж). Продолжает исследования процессов замедления и захвата нейтронов ядрами. Изучает явление ядерной изомерии. За исследования ядерной изомерии получает премию Кюри—Карнеги.
1938	Женится на Марианне Нордблом.
1940	Переезжает в США.
	Предлагает новый эффективный метод разведки нефтеносных и газовых месторождений — нейтронный каротаж.
1940—1943	Работает в США (Оклахома) в качестве руководителя научного отдела частного геологического учреждения. Применяет на практике предложенный им метод нейтронного каротажа.
1943—1948	Работает в Канаде. Участвует в создании и запуске большого исследовательского реактора на тяжелой воде в Чок-Ривере.
1946	Предлагает знаменитый метод детектирования нейтрино с помощью реакции превращения ядер хлора в ядра радиоактивного аргона.
1947	Публикует статью «Захват мезонов ядрами и распад мезонов»; обращает внимание на возможное равенство констант взаимодействия электронов и мюонов с нуклонами; это равенство оказалось впоследствии исходным пунктом более общей идеи универсального взаимодействия Ферми.
1948	Совместно с Э.П.Хинксом выполняет эксперименты по распаду мюонов и показывает, что при распаде мюона космического излучения не испускается ни фотон, ни нейтральный мезон, распадающийся на два фронта.
	Обнаруживает в работе пропорциональных счетчиков режим с высоким усилением и развивает эту технику низкофоновых пропорциональных счетчиков для экспериментов с солнечными нейтрино.

1949	Измеряет, совместно с Г.Ханна, бета-спектр трития и получает одно из первых ограничений на величину массы нейтрино.
1949—1950	Работает в Харуэлле (Англия).
1950	Переезжает в СССР. Работает в Институте ядерных проблем АН СССР — ныне Лаборатория ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (Дубна).
1951—1953	Проводит исследования процессов образования нейтральных пионов при соударениях нейтронов с протонами и ядрами на пятиметровом синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем.
1953	Присуждена Государственная премия СССР за цикл научно-исследовательских работ, выполненных на синхроциклотроне.
1954	Независимо от А.Пайса приходит к идее совместного рождения каонов и гиперонов в пион-нуклонных и нуклон-нуклонных соударениях.
1954—1957	Проводит исследования взаимодействия пионов с водородом и ядрами.
1956	Выдвигает идею возможности безмезонной аннигиляции антипротона на дейтроне (реакция Понтекорво).
1957—1958	Выдвигает идею осцилляций нейтрино.
1958	Избран членом-корреспондентом Академии наук СССР.
	Награжден орденом Трудового Красного Знамени.
1959	Публикует статью «Электронные и мюонные нейтрино» с детальным обсуждением проблем и идентичности электронных и мюонных нейтрино и предлагает эксперимент, позволяющий ответить на вопрос, являются ли электронные и мюонные нейтрино идентичными или разными частицами.
	Предлагает постановку экспериментов с пучками нейтрино на ускорителях. Указывает на значение универсального взаимодействия Ферми между электронами и нейтрино для астрофизических процессов.
1961—1966	Профессор кафедры элементарных частиц Московского государственного университета.
1961—1963	Проводит исследование реакции поглощения отрицательных мюонов ядрами гелия-3.
1962	Награжден орденом Трудового Красного Знамени.
1963	Присуждена Ленинская премия за цикл работ по физике слабых взаимодействий и нейтрино.
	Награжден орденом Ленина.
	Избран членом бюро Отделения ядерной физики АН СССР.
1964	Избран действительным членом Академии наук СССР.
1966—1986	Заведует кафедрой элементарных частиц Московского государственного университета.
1967—1993	Является членом научно-координационного совета Института физики высоких энергий (Протвино).
1967	Указывает на важную роль осцилляций нейтрино при интерпретации экспериментов с солнечными нейтрино.
1967—1971	Выполняет работы, посвященные вопросу сохранения лептонного заряда и некоторым новым проблемам физики нейтрино.

1969—1986	Является председателем Научного совета АН СССР по нейтринной физике.
1969—1993	Является членом правления общества «СССР—Италия».
1969	Создает первый вариант теории осцилляций нейтрино с майорановскими массами.
1970	Награжден медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина».
1971—1990	Начальник научно-экспериментального отдела слабых и электромагнитных взаимодействий Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.
1971	Является ответственным редактором и составителем полного собрания научных трудов Э.Ферми, изданного на русском языке в двух томах. Пишет к нему обширное предисловие.
1972	Пишет, совместно с В.Н.Покровским, книгу воспоминаний о Э.Ферми.
1973	Награжден орденом Ленина.
1975	Награжден орденом Трудового Красного Знамени.
	Награжден медалью имени Этвеша Венгерского физического общества им. Л.Этвеша.
1977	Предлагает модель дираковского и майорановского смешивания нейтрино.
1978	Впервые после 28-летнего отсутствия возвращается на короткое время в Италию.
1979	Получает премию «Золотой дельфин» г.Пизы (Италия).
1980	Избран почетным доктором естественных наук Будапештского университета (ВНР).
1981	Избран иностранным членом Академии деи Линчеи (Италия).
1983	Награжден орденом Октябрьской Революции.
1990—1993	Научный консультант дирекции ОИЯИ.
1991	Избран почетным доктором Университета Феррары (Италия).
1993, 24 сентября	Умер в г.Дубне (Россия).

БИБЛИОГРАФИЯ ТРУДОВ БРУНО ПОНТЕКОРВО

1934

Azione di sostanze idrogenate sullà radioattività provocata da neutroni. I // Ric. Scient., 1934, vol.2, No.7/8, p.282—283 (*In collaborazione con E.Fermi, E.Amaldi, F.Rasetti, E.Segrè*).
То же на русском языке: Ферми Э. Научные труды. Под общ. ред. Б.Понтекорво. — М.: Наука, 1971, т.1, с.639—640 (*Совместно с Э.Ферми, Э.Амальди, Ф.Разетти, Э.Сегре*).

Effetto di sostanze idrogenate sullà radioattività provocata da neutroni. II // Ric. Scient., 1934, vol.2, No.9/10, p.380—381 (*In collaborazione con E.Fermi, F.Rasetti*).
То же на русском языке: Ферми Э. Научные труды. Под общ. ред. Б.Понтекорво. — М.: Наука, 1971, т.1, с.641—642 (*Совместно с Э.Ферми, Ф.Разетти*).

Effetto del vapore di merourio sopra i termini alti degli alcalini // Rend. Linc., 1934, vol.20, Fs.3/4, p.105—109.

Radioattività provocata da bombardamento di neutroni. VII // Ric. Scient., 1934, vol.2, No.11/12, p.467—470 (*In collaborazione con E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, F.Rasetti, E.Segrè*).

1935

Artificial Radioactivity Produced by Neutron Bombardment. II // Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, 1935, vol.149, p.522—558 (*In collaboration with E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, F.Rasetti, E.Segrè*).
То же на русском языке: Ферми Э. Научные труды. Под общ. ред. Б.Понтекорво. — М.: Наука, 1971, т.1, с.643—671 (*Совместно с Э.Ферми, Э.Амальди, О.Д'Агостино, Ф.Разетти, Э.Сегре*).

Radioattività provocata da bombardamento di neutroni. VIII // Ric. Scient., 1935, vol.1, No.2, p.123—125 (*In collaborazione con E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, F.Rasetti, E.Segrè*).

Radioattività indotta da bombardamento di neutroni. IX // Ric. Scient., 1935, vol.1, No.7/8, p.435—437 (*In collaborazione con E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, E.Segrè*).

Radioattività provocata da bombardamento di neutroni. X // Ric. Scient., 1935, vol.1, No.11/12, p.581—584 (*In collaborazione con E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, E.Segrè*).
То же на русском языке: Ферми Э. Научные труды. Под общ. ред. Б.Понтекорво. — М.: Наука, 1971, т.1, с.679—683 (*Совместно с Э.Ферми, Э.Амальди, О.Д'Агостино, Э.Сегре*).

Richerche sugli assorbimenti dei neutroni lenti // Ric. Scient., 1935, vol.2, No.5/6, p.145—148.

Sulle proprieta dei neutroni lenti // Nuovo Cim., 1935, vol.12, No.4, p.211—222.

1936

Sopra la diffusione dei neutroni. I // Ric. Scient., 1936, vol.1, No.3/4, p.134—137 (*In collaborazione con G.C.Wick*).

Sulla diffusione dei neutroni. II // Ric. Scient., 1936, vol.1, No.5/6, p.220—222 (*In collaborazione con G.C.Wick*).

Sur l'origine de la non Homogeneite du Rayonnement de capture des neutrons lents // J. Phys. Rad., 1936, vol.7, No.12, p.511—513.

1937

Sur l'existence possible d'isomers β-stabiles // C. R. du Congres du Palais de la Deconvete. — Paris, 1937.

1938

Isomeric Forms of Radio Rhodium // Nature, 1938, vol.141, No.3574, p.785—786.

Nuclear Isomerism and Internal Conversion // Phys. Rev., 1938, vol.54, No.7, p.542.

Sur la diffusion de neutrons monocinetiques par les protons // C. R. Acad. Sci., 1938, vol.206, No.13, p.1003—1007.

Sur l'ordre de grandeur des probabilities de transition radioactive dans les noyaux // C. R. Acad. Sci., 1938, vol.207, No.3, p.230—232.

Sur un radioelement produit dans le cadmium sous l'action des neutrons rapides // C. R. Acad. Sci., 1938, vol.207, No.4, p.287—293 (*En collaboration avec M.Dodè*).

1939

Isomèrie nuclèaire produite par les rayons *X* du spectre continu // C. R. Acad. Sci., 1939, vol.208, No.2, p.99—101 (*En collaboration avec A.Lazard*).

Recent Experimental Results in Nuclear Isomerism // Nature, 1939, vol.144, No.3639, p.212—213.

1941

Neutron Well Logging — A New Geological Method Based on Nuclear Physics // Oil and Gas Journal, 1941, vol.40, p.32—33.

1942

Radioactivity Analysis of Oil Well Samples // Geophysics, 1942, vol.7, No.1, p.90—94.

1946

Inverse β Decay // National Research Council of Canada, Chalk River, 1946 (Report PD-205).

1947

Excitation of Indium-113 by *X* Rays // Proc. Camb. Phil. Soc., 1947, vol.43, No.1, p.123—126 (*In collaboration with J.V.Dunworth*).

Nuclear Capture of Mesons and the Meson Decay // Phys. Rev., 1947, vol.72, No.3, p.246—247.

Spatial Distribution of Neutrons in Hydrogenous Media Containing Bismuth, Lead and Iron // Can. J. Res., Sec.A, 1947, vol.25, No.3, p.157—167 (*In collaboration with A.M.Munn*).

The Transport Mean Free Path of Thermal Neutrons in Heavy Water // Can. J. Res., Sec.A, 1947, vol.25, No.3, p.143—156 (*In collaboration with P.Auger, A.M.Munn*).

X-Ray Excitation of Lutecium // Proc. Camb. Phil. Soc., 1947, vol.43, Pt.3, p.429—432 (*In collaboration with J.V.Dunworth*).

1948

The Absorption of Charged Particles from the 2.2-μsec Meson Decay // Phys. Rev., 1948, vol.74, No.6, p.697—698 (*In collaboration with E.P.Hincks*).

Fluctuations of Ionization and Low Energy Beta-Spectra // Phys. Rev., 1948, vol.74, No.4, p.497—498 (*In collaboration with D.H.W.Kirkwood, G.C.Hanna*).

The Neutrino and the Recoil of Nuclei in β Disintegrations // Reports on Progress in Physics. — London: The Physical Society, 1948, vol.11, p.32—42.

On the Stability of the Neutral Meson // Phys. Rev., 1948, vol.73, No.9, p.1122—1123 (*In collaboration with E.P.Hincks*).

Search for Gamma-Radiation in the 2.2-μsec Meson Decay Process // Phys. Rev., 1948, vol.73, No.3, p.257—258 (*In collaboration with E.P.Hincks*).

1949

High Multiplication Proportional Counters for Energy Measurements // Phys. Rev., 1949, vol.75, No.6, p.985—986 (*In collaboration with G.C.Hanna, D.H.W.Kirkwood*).

Nuclear Capture of L_{I} Electrons // Phys. Rev., 1949, vol.75, No.6, p.982 (*In collaboration with D.H.W.Kirkwood, G.C.Hanna*).

The β Spectrum of ^{3}H // Phys. Rev., 1949, vol.75, No.6, p.983—984 (*In collaboration with G.C.Hanna*).

The Penetration of μ-Meson Decay Electrons and Their Bremsstrahlung Radiation // Phys. Rev., 1949, vol.75, No.4, p.698—699 (*In collaboration with E.P.Hincks*).

1950

On the Absence of Photons among the Decay Products of the 2.2-μsec Meson // Can. J. Res., 1950, vol.28A, No.1, p.29—43 (*In collaboration with E.P.Hincks*).

On the Disintegration Products of the 2.2-μsec Meson // Phys. Rev., 1950, vol.77, No.1, p.102—120 (*In collaboration with E.P.Hincks*).

Recent Developments in Proportional Counter Technique // Helv. Phys. Acta, 1950, vol.23, Suppl.3, p.97—118.

1955

Взаимодействие отрицательных π-мезонов с ядрами бериллия, углерода и кислорода в интервале энергий от 140 до 400 МэВ // ДАН, 1955, т.103, №3, с.395—397 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

О возможности образования Λ^0-частиц протонами с энергией до 700 МэВ // ЖЭТФ, 1955, т.29, вып.3, с.265—273 (*Совместно с М.П.Баландиным, Б.Д.Балашовым, В.А.Жуковым, Г.И.Селивановым*).

О возможности образования проникающего излучения (μ^0-мезонов) при соударениях протонов большой энергии с ядрами // ЖЭТФ, 1955, т.29, вып.6, с.889—892 (*Совместно с А.Н.Новиковым, Г.И.Селивановым*).

О процессах образования тяжелых мезонов и V_I^0-частиц // ЖЭТФ, 1955, т.29, вып.2, с.140—146.

Образование π^0-мезонов на водороде и дейтерии нейтронами с энергией 400 МэВ // ДАН, 1955, т.102, №3, с.495—497 (*Совместно с Г.И.Селивановым*).

Образование π^0-мезонов нейтронами // ДАН, 1955, т.102, №2, с.253—256 (*Совместно с Г.И.Селивановым*).

Полные сечения взаимодействия отрицательных π-мезонов с водородом в интервале энергий от 140 до 400 МэВ // ДАН, 1955, т.103, №1, с.45—47 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Полные сечения взаимодействия отрицательных π-мезонов с дейтерием в интервале энергий от 140 до 400 МэВ // ДАН, 1955, т.103, №2, с.209—212 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Попытка обнаружения ядра ^{4}H среди продуктов расщепления углерода протонами с энергией 300 МэВ // ДАН, 1955, т.102, №4, с.723—725 (*Совместно с А.А.Реутом, С.М.Коренченко, В.В.Юрьевым*).

Энрико Ферми (1901—1954) (К годовщине смерти) // УФН, 1955, т.57, вып.3, с.349—359.

1956

Взаимодействие π^--мезонов с ядрами свинца, меди, углерода и бериллия // ЖЭТФ, 1956, т.31, вып.4, с.545—549 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Вывод пучков частиц высокой энергии через ярмо электромагнита фазотрона // Атомная энергия, 1956, №5, с.5—8 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, В.В.Кривицким, А.И.Мухиным, А.А.Реутом, К.И.Таракановым*).

Образование π^0-мезонов при взаимодействии протонов с водородом, дейтерием и углеродом // Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.33 (*Совместно с Б.Д.Балашовым, В.А.Жуковым, Г.И.Селивановым*).

Одномезонная и безмезонная аннигиляция антинуклонов // ЖЭТФ, 1956, т.30, вып.5, с.947—948.
То же: Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.107.

Полные сечения взаимодействия положительных π-мезонов с водородом // ЖЭТФ, 1956, т.30, вып.1, с.7—11 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Пучки частиц высоких энергий от шестиметрового синхроциклотрона и их использование // Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.7—8 (*Совместно с В.П.Джелеповым, В.П.Дмитриевским, В.С.Катышевым, М.С.Козодаевым, М.Г.Мещеряковым, А.В.Честным*).

Рассеяние π^+-мезонов на водороде. I. Угловое распределение при энергиях 176, 200, 240, 270 и 307 МэВ // ЖЭТФ, 1956, т.31, вып.3, с.371—385 (*Совместно с А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Рассеяние π^+-мезонов на водороде. II. Обсуждение и интерпретация результатов // ЖЭТФ, 1956, т.31, вып.4, с.550—559 (*Совместно с А.И.Мухиным*).

Рассеяние π^+-мезонов на водороде при энергиях 270 и 307 МэВ // Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.58—59 (*Совместно с А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Предисловие // Ферми Э. Лекции о π-мезонах и нуклонах. — М.: Изд-во иностр. лит., 1956, с.1.

Угловые распределения π^+-мезонов, рассеянных на водороде при энергиях 176, 200 и 240 МэВ // Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.59—61 (*Совместно с А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Фазы мезон-нуклонного рассеяния в области энергий до 310 МэВ // Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.61—62 (*Совместно с А.И.Мухиным, И.В.Поповой, Г.Н.Тентюковой*).

Энергетическая зависимость пробега π^--мезонов в ядерном веществе // Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий. Май 1956: Тезисы докл. — М.: Изд-во АН СССР, 1956, с.81—82 (*Совместно с А.Е.Игнатенко, А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).

Negative *K*-Meson Production Threshold. JINR, P-10. — Dubna, 1956 (*In collaboration with M.Danysz*).

Positive Pion-Proton Scattering at the Energies 176, 200, 240, 270, 307 and 310 MeV. // CERN Symposium on High Energy Accelerators and Pion Physics. Geneva, June, 1956, vol.2, p.204—224 (*In collaboration with A.I.Mukhin, E.B.Ozerov, E.L.Grigoriev, N.A.Mitin*).

1957

Исследования по физике частиц высоких энергий на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований // Атомная энергия, 1957, т.3, №11, с.413—443 (*Совместно с В.П.Джелеповым*).

Мезоний и антимезоний. ОИЯИ, Р-29. — Дубна, 1957.
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1957, т.33, вып.2, с.549—551.

Некоторые замечания о медленных процессах превращения элементарных частиц. ОИЯИ, Р-24. — Дубна, 1957 (*Совместно с Л.Б.Окунем*).
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1957, т.32, вып.6, с.1587—1588.

Порог «рождения» и порог «генерации» отрицательных K-мезонов // ЖЭТФ, 1957, т.32, вып.2, с.398—399 (*Совместно с М.Данышем*).

Ядерная физика // Большая советская энциклопедия. Изд. 2-е. — М.: БСЭ, 1957, т.49, с.457—465.

The Extraction of High-Energy Particle-Beams through the Yoke of the Synchrocyclotron Electromagnet // J. Nucl. Energy, 1957, vol.5, No.1, p.57—61 (*In collaboration with A.E.Ignatenko, V.V.Krivitsky, A.I.Mukhin, A.A.Reut, K.I.Tarakanov*).

Inverse β Processes and Nonconservation of Lepton Charge. JINR, P-95. — Dubna, 1957.
То же на русском языке.

1958

Исследования по физике частиц высоких энергий на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований // УФН, 1958, т.64, вып.1, с.15—54 (*Совместно с В.П.Джелеповым*).

Обратные β-процессы и несохранение лептонного заряд // ЖЭТФ, 1958, т.34, вып.1, с.247—249.

Ученый, борец, человек (Воспоминания о встречах с Ф.Жолио-Кюри) // Огонек, 1958, №35, с.3.

Энергетическая зависимость асимметрии в $\mu^+ \to e^+$-распаде. ОИЯИ, Р-159. — Дубна, 1958 (*Совместно с А.И.Мухиным, Е.Б.Озеровым*).
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1958, т.35, вып.2, с.240—347.

1959

Безрадиационные переходы в тяжелых μ-мезоатомах. ОИЯИ, Р-448. — Дубна, 1959 (*Совместно с М.Я.Балацем, Л.Н.Кондратьевым, Л.Г.Ландсбергом, П.И.Лебедевым, Ю.В.Обуховым*).
То же на английском языке.

Возможный метод поиска ρ^0-мезонов. ОИЯИ, Р-319. — Дубна, 1959 (*Совместно с В.Г.Зиновым, А.Д.Кониным, С.М.Коренченко*).
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1959, т.36, вып.6, с.1948—1950.

Полные сечения взаимодействия π^--мезонов с водородом. Поиски ρ^0-мезона и проверка дисперсионных соотношений. ОИЯИ, Д-455. — Дубна, 1959 (*Совместно с В.Г.Зиновым, А.Д.Кониным, С.М.Коренченко*).
То же на английском языке.

Универсальное взаимодействие Ферми и астрофизика. ОИЯИ, Р-318. — Дубна, 1959.
То же: ЖЭТФ, 1959, т.36, вып.5, с.1615—1616.

Электронные и мюонные нейтрино. ОИЯИ, Р-376. — Дубна, 1959.
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1959, т.37, вып.6, с.1751—1757.

1960

Безрадиационные переходы в тяжелых μ-мезоатомах // ЖЭТФ, 1960, т.38, вып.6, с.1715—1719 (*Совместно с М.Я.Балацем, Л.Н.Кондратьевым, Л.Г.Ландсбергом, П.И.Лебедевым, Ю.В.Обуховым*).

Мезоний и антимезоний // К физике нейтрино высоких энергий. — Дубна, 1960, с.43—45.

О новых странных частицах. ОИЯИ, Д-501. — Дубна, 1960.
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1960, т.38, вып.5, с.1654—1656.

О постановке опытов при помощи пучков нейтрино мезонной природы // К физике нейтрино высоких энергий. — Дубна, 1960, с.39—41.
То же: ЖЭТФ, 1960, т.39, вып.4, с.1166—1168.
То же: Intern. Conf. on High Energy Physics, Rochester, 1960: Proc. — Geneva, 1960, p.617—618.

О промежуточном бозоне в слабых взаимодействиях // К физике нейтрино высоких энергий. — Дубна, 1960, с.35—37 (*Совместно с Р.М.Рындиным*).

Об интенсивности безрадиационных переходов в μ-мезоатомах // ЖЭТФ, 1960, т.39, вып.4, с.1168—1170 (*Совместно с М.Я.Балацем, Л.Н.Кондратьевым, Л.Г.Ландсбергом, П.И.Лебедевым, Ю.В.Обуховым*).

Поиски ρ^0-мезона и проверка дисперсионных соотношений в πN-рассеянии // ЖЭТФ, 1960, т.38, вып.6, с.1708—1714 (*Совместно с В.Г.Зиновым, А.Д.Кониным, С.М.Коренченко*).

Универсальное взаимодействие Ферми и астрофизика // К физике нейтрино высоких энергий. — Дубна, 1960, с.47—48.

Электронные и мюонные нейтрино // К физике нейтрино высоких энергий. — Дубна, 1960, с.27—33.
То же: Phys. Abh. Sowjet., 1960, Bd.3, Hf.5, S.355—363.

On the Intensity of Radiationless Transitions in the μ-Mesic Atoms of Pb, Bi, Th, ^{235}U, ^{238}U // Intern. Conf. on High Energy Physics. Rochester, 1960: Proc. — Geneva, 1960, p.550—552 (*In collaboration with A.I.Mukhin, M.J.Balatz, L.N.Kondratiev, L.G.Landsberg, P.I.Lebedev, Yu.V.Obukhov*).

Pion-Nucleon Scattering and Single Pion Production in Nucleon-Nucleon and Pion-Nucleon Interactions // Intern. Annual Conf. on High Energy Physics, 9th. Kiev, July, 1959: Proc. — Moscow, 1960, p.83—161.

1961

Наблюдение реакций $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu$. ОИЯИ, Д-768. — Дубна, 1961 (*Совместно с О.А.Займидорогой, А.И.Филипповым, М.М.Кулюкиным, Ю.А.Щербаковым, Р.М.Суляевым, В.М.Цупко-Ситниковым*).
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1961, т.41, вып.6, с.1804—1808.

Нейтрино и плотность материи во Вселенной. ОИЯИ, Д-668. — Дубна, 1961 (*Совместно с Я.А.Смородинским*).

То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1961, т.41, вып.1, с.239—243.

Неуловимое нейтрино // Знание — сила, 1961, №2, с.13—18.

Рассеяние пионов нуклонами и одиночное рождение пионов в нуклон-нуклонных и пион-нуклонных взаимодействиях // Международн. конф. по физике высоких энергий, 9-я. Киев, июль 1959 г.: Материалы. — М.: Изд-во АН СССР, 1961, с.60—117 (*Совместно с А.И.Мухиным, Л.М.Сороко, Ю.Д.Прокошкиным*).

Что тяжелее: мюоний-один или мюоний-два? ОИЯИ, Д-763. — Дубна, 1961 (*Совместно с Л.Б.Окунем*).
То же на английском языке.
То же: ЖЭТФ, 1961, т.41, вып.3, с.989—991.

1962

Вопросы физики нейтрино // Вопросы физики элементарных частиц. — Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1962, с.273—282.

Загадочные нейтрино // За коммунизм, 1962, 24 марта; 27 марта.

Измерение вероятности реакции $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu$. ОИЯИ, Д-988. — Дубна, 1962 (*Совместно с О.А.Займидорогой, М.М.Кулюкиным, Р.М.Суляевым, И.В.Фаломкиным, А.И.Филипповым, В.М.Цупко-Ситниковым, Ю.А.Щербаковым*).
То же: ЖЭТФ, 1962, т.43, вып.1, с.355—358.
То же: Phys. Lett., 1962, vol.1, No.8, p.318—320.

K-мезоны // Физический энциклопедический словарь. — М.: Сов. энциклопедия, 1962, т.2, с.395—399.

Современное состояние физики нейтрино (Тезисы доклада на совещ. по космическим лучам. Боржоми—Ереван, июнь 1961 г.) // Изв. АН СССР, сер. физ., 1962, т.26, №6, с.737.

Artificial Radioactivity Produced by Neutron Bombardment. II // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.765—791 (*In collaboration with E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, F.Rasetti, E.Segrè*).

Influence of Hydrogenous Substances on the Radioactivity Produced by Neutrons. I // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.761—762 (*In collaboration with E.Fermi, E.Amaldi, F.Rasetti, E.Segrè*).

Influence of Hydrogenous Substances on the Radioactivity Produced by Neutrons. II // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.763—764 (*In collaboration with E.Fermi, F.Rasetti*).

Is «Muonium One» Heavier than «Muonium Two» or Vice Versa? // Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN. Geneva, July 1962: Abstr. — Geneva, 1962, Abstr. 56.

Measurement of the $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu$ Reaction Rate // Phys. Lett., 1962, vol.1, No.8, p.318—320 (*In collaboration with I.V.Falomkin, A.I.Filippov, M.M.Kulyukin, Yu.A.Scherbakov, R.M.Sulyaev, V.M.Tsupko-Sitnikov, O.A.Zaimidoroga*).

Muon-Nucleon Interaction Constants and Muon Capture in ${}^3He$ // Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN. Geneva, July 1962: Abstr. — Geneva, 1962, Abstr. 97 (*In collaboration with I.V.Falomkin, A.I.Filippov, M.M.Kulyukin, Yu.A.Scherbakov, R.M.Sulyaev, V.M.Tsupko-Sitnikov, O.A.Zaimidoroga*).

The Neutrino and the Density of Matter in the Universe // Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN. Geneva, July 1962: Abstr. — Geneva, 1962, Abstr. 112 (*In collaboration with Ya.A.Smorodinsky*).

Neutrinos and the Cosmic Ray Intensity at Great Depths. JINR, E-1032. — Dubna, 1962 (*In collaboration with A.E.Chudakov*).
То же: Intern Conf. on High Energy Physics at CERN. Geneva, July 1962: Proc. — Geneva, 1962, p.638—640.
То же: ЖЭТФ, 1962, т.43, вып.5, с.1967—1969.

Observation of the Reaction $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu$ // Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN. Geneva, July 1962: Abstr. — Geneva, 1962, Abstr. 99 (*In collaboration with A.I.Filippov, M.M.Kulyukin, Yu.A.Scherbakov, R.M.Sulyaev, O.A.Zaimidoroga*).

Radioactivity Produced by Neutron Bombardment. VII // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.683—688 (*In collaboration with E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, F.Rasetti, E.Segrè*).

Radioactivity Produced by Neutron Bombardment. VIII // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.689—692 (*In collaboration with E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, F.Rasetti, E.Segrè*).

Radioactivity Induced by Neutron Bombardment. IX // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.693—696 (*In collaboration with E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, E.Segrè*).

Radioactivity Induced by Neutron Bombardment. X // Fermi E. Collected Papers (Note e Memorie). — Chicago: the Univ. of Chicago Press, 1962, vol.1, p.697—701 (*In collaboration with E.Amaldi, O.D'Agostino, E.Fermi, E.Segrè*).

Search for Anomalous Scattering of Muon Neutrinos by Nucleons // Phys. Lett., 1962, vol.1, No.8, p.345—347 (*In collaboration with V.M.Vasilevsky, V.I.Veksler, V.V.Vishnyakov, A.A.Tyapkin*).

Small Probability of the $\mu \to e + \gamma$ and $\mu \to e + e + e$ Processes and Neutral Currents in Weak Interactions. JINR, E-980. — Dubna, 1962.
То же: Phys. Lett., 1962, vol.1, No.7, p.287—288.
То же: Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN. Geneva, July 1962: Abstr. — Geneva, 1962, Abstr. 111.
То же: ЖЭТФ, 1962, т.43, вып.4, с.1521—1523.

1963

Загадочные нейтрино // Пути в незнаемое. — М.: Сов. писатель, 1963, с.580—587.

Измерение вероятности реакции $\mu^- + {}^3He \to {}^3H + \nu$. Окончательные результаты // ЖЭТФ, 1963, т.44, вып.1, с.389—390 (*Совместно с О.А.Займидорогой, М.М.Кулюкиным, Р.М.Суляевым, И.В.Фаломкиным, А.И.Филипповым, В.М.Цупко-Ситниковым, Ю.А.Щербаковым*).
То же: Phys. Lett., 1963, vol.3, No.5, p.229.

Измерение полной вероятности захвата мюонов в гелии-3. ОИЯИ, Д-1324. — Дубна, 1963 (*Совместно с О.А.Займидорогой, М.М.Кулюкиным, Р.М.Суляевым, И.В.Фаломкиным, А.И.Филипповым, В.М.Цупко-Ситниковым, Ю.А.Щербаковым*).
То же: ЖЭТФ, 1963, т.45, вып.6, с.1803—1807.
То же: Phys. Lett., 1963, vol.6, No.1, p.100—102.

Нейтрино в лаборатории и во Вселенной // Наука и человечество. — М.: Знание, 1963, с.282—309.

Нейтрино и его роль в астрофизике // УФН, 1963, т.79, вып.1, с.3—21.
То же: Вопросы космогонии. — М.: Изд-во АН СССР, 1963, т.9, с.132—156.
То же: Fortschr. der Physik, 1963, Bd.11, No.11, S.503—523.

Несохранение четности и макроскопическое вращение // УФН, 1963, т.81, вып.1, с.3—6 (*Совместно с И.Ю.Кобзаревым*).
То же: Вопросы физики элементарных частиц. — Ереван: Изд-во АН АрмССР, с.319—323.

Слабое взаимодействие элементарных частиц и нейтрино // Правда, 1963, 28 апреля.

Удивительнейшая из удивительных (О нейтрино) // Известия, 1963, 28 декабря.

1964

Измерение полной вероятности захвата мюонов в гелии-3 // Nukleonika, 1964, vol.9, No.2/3, p.107—112 (*Совместно с О.А.Займидорогой, М.М.Кулюкиным, Р.М.Суляевым, И.В.Фаломкиным, А.И.Филипповым, В.М.Цупко-Ситниковым, Ю.А.Щербаковым*).

Не теряйте золотого времени! (Об итальянском физике Э.Ферми с приложением отрывка из письма инженера Амидея к проф. Э.Сегре от 25 ноября 1958 г.) // Юность, 1964, №8, с.66—68.
То же: Правда, 1964, 1 сентября.
То же: За коммунизм, 1964, 9 сентября.

Нейтрино в космосе // Рождение и эволюция галактик и звезд: Сб. статей. — М.: Знание, 1964, с.19—21 (Новое в жизни, науке и технике. Сер.9. Физика. Математика. Астрономия. Беседа 3).

1965

Возникновение мезоатомов при распаде тяжелых гиперядер // ЯФ, 1965, т.2, вып.2, с.257—260 (*Совместно с С.С.Герштейном*).

Мюонное *K*-рождение в распаде тяжелых гиперядер. ОИЯИ, Р-1998. — Дубна, 1965 (*Совместно с С.С.Герштейном*).

Нейтрино и его роль в астрофизике // Космические лучи и проблемы космофизики: I Всесоюз. совещ. по космофизическому направлению исследований космических лучей. Якутск. Август—сентябрь, 1962: Труды. — Новосибирск, Сиб. отд. АН СССР, 1965, с.23—41.

Физика элементарных частиц — дорогая вещь! Нужна ли она? // УФН, 1965, т.86, вып.4, с.726—732.

1966

Встречные частицы (О работе сотрудников Ин-та ядерной физики Сиб. отд. АН СССР над созданием ускорителей высоких энергий) // Известия, 1966, 9 февраля.

Нейтрино. — М.: Знание, 1966 (Новое в жизни, науке и технике. Сер.9. Физика. Математика. Астрономия).

Физика элементарных частиц // Теория относительности и физика высоких энергий. — М.: Знание, 1966, с.27—32 (Новое в жизни, науке и технике. Сер.9. Физика. Математика. Астрономия).

Четырехлептонные распады π- и K-мезонов и возможные аномальные взаимодействия лептонов. ОИЯИ, Д-2768. — Дубна, 1966 (*Совместно с Л.Б.Окунем, К.Руббиа*).
То же: ЯФ, 1966, т.4, вып.6, с.1202—1206.
То же: Rev. Roum. Phys., 1966, vol.11, No.9/10, p.819—824.

1967

Мультипликативно ли одно из лептонных квантовых чисел? ОИЯИ, Р2-3601. — Дубна, 1967 (*Совместно с Нгуен Ван Хьеу*).

Нейтринные опыты и вопрос о сохранении лептонного заряда // ЖЭТФ, 1967, т.53, вып.5, с.1717—1725.
То же: The Heidelberg Intern. Conf. on Elementary Particles. Heidelberg. September 1967: Abstracts. — Heidelberg, 1967, p.328.

Об элементарных частицах, ускорителях и скептиках // Правда, 1967, 1 февраля.
То же: За коммунизм, 1967, 4 февраля.

Пятиметровая жидководородная пузырьковая камера. Ч.1. Физико-техническое обоснование. ОИЯИ, 13-3322. — Дубна, 1967 (*Совместно с Г.М.Александровым, М.П.Баландиным, С.К.Багдасаровым, В.А.Богачем, Л.С.Вертоградовым, В.И.Ганичевым, Е.В.Гераскиным, В.Г.Гребинником, В.А.Жуковым, А.Заплеталом, Б.В.Ивановым, Э.Кишем, Б.А.Клениным, В.В.Куликовым, У.Кундтом, В.С.Курбатовым, А.Г.Лавруком, В.И.Лепиловым, Г.Либманом, А.П.Манычем, Ю.П.Мерековым, В.А.Моисеенко, Ю.Б.Османовым, А.В.Плескачом, И.Полахом, М.Салоком, Г.И.Селивановым, В.И.Смирновым, Л.Г.Ткачевым, А.И.Филипповым, Ю.Н.Харжеевым, Б.Шмидтке*).

1968

Мультипликативно ли одно из лептонных квантовых чисел? // Письма в ЖЭТФ, 1968, т.7, вып.4, с.137—139 (*Совместно с Нгуен Ван Хьеу*).

Проблема сохранения лептонного заряда // Международн. школа по физике высоких энергий. Попрадске Плесо, Чехословакия, октябрь 1967: Материалы. — Дубна, 1968, с.483—496.

Сохранение лептонов, барионов и масса нейтрино (Таблицы экспериментальных данных) // УФН, 1968, т.95, вып.3, с.517—519.

Neutrino Experiments and the Question of Leptonic-Charge Conservation // Old and New Problems in Elementary Particles. — N.Y.—London: Acad. Press, 1968, p.251—261.

Superweak Interactions and Double Beta Decay // Phys. Lett., 1968, vol.26B, No.10, p.630—632.

1969

Лептонный заряд и нейтринная астрофизика // Изв. АН СССР, сер. физ., 1969, №11, с.1787—1791.

Нейтринная астрофизика и лептонный заряд // Международн. семинар по физике нейтрино и нейтринной астрофизике. Москва, сентябрь 1968: Труды. — М.: ФИАН СССР, 1969, ч.2, с.169—179.

Поиски новых стабильных частиц. ОИЯИ, Д1-4638. — Дубна, 1969.

Neutrino Astronomy and Lepton Charge // Phys. Lett., 1969, vol.28B, No.7, p.493—496 (*In collaboration with V.N.Gribov*).

1970

В глубины вещества (Об импульсном реакторе периодического действия, созданном в ОИЯИ) // Правда, 1970, 9 октября.

О ν–ν-взаимодействии. ОИЯИ, Р2-5036. — Дубна, 1970 (*Совместно с Д.Ю.Бардиным, С.М.Биленьким*).
То же: Intern. Conf. on High Energy Physics, 15th. Kiev, 1970: Abstr. — Kiev, 1970, vol.2, p.766.
То же: Phys. Lett., 1970, vol.32B, No.2, p.121—124.

О некоторых вопросах физики нейтрино // Нелокальные, нелинейные и неренормируемые теории поля: Материалы 2-го Совещ. по нелокальным теориям поля. Азау, СССР, март 1970. — Дубна, 1970, с.51—69 (*Совместно с Д.Ю.Бардиным, С.М.Биленьким*).

О процессе $\bar{\nu}_e + e \to \bar{\nu}_e + e$. ОИЯИ, Р2-4939. — Дубна, 1970 (*Совместно с Д.Ю.Бардиным, С.М.Биленьким*).
То же: Intern. Conf. on High Energy Physics, 15th. Kiev, 1970: Abstr. — Kiev, 1970, vol.2, p.765.
То же: Phys. Lett., 1970, vol.32B, No.1, p.68—70.

Об одной экспериментальной возможности в нейтринной астрономии // Письма в ЖЭТФ, 1970, т.12, вып.7, с.347—349 (*Совместно с Г.Т.Зацепиным*).

Поиски радиоактивности нового типа в мишенях из Al и W, облученных протонами с энергией 70 ГэВ. ОИЯИ, Р1-5399. — Дубна, 1970 (*Совместно с А.В.Демьяновым, А.В.Куликовым, А.В.Купцовым, Г.Г.Мкртчяном, Л.Л.Неменовым, Г.И.Смирновым, А.Г.Федуновым, Д.М.Хазинсом, Ю.М.Чиркиным*).

Предисловие // Нейтрино: Сб. статей. — М.: Наука, 1970 (*Современные проблемы физики*).

Interrogatives about Neutrinos. JINR, E1-5439. — Dubna, 1970.
То же: Международн. конф. по физике высоких энергий, 15-я. Киев, 1970: Материалы. — Дубна, 1970, т.2, с.685—707.

O elementárnich cásticich, urychlovacich a skepticich. — On Elementary Particles, Accelerators and Sceptics // Cesk. Casop. Fys., Sect.A, 1970, vol.20, No.6, p.651—653.

Search for New Stable Particles // Evolution of Particle Physics. — N.Y.—London: Acad. Press, 1970, p.210—217.
То же: ЯФ, 1970, т.11, вып.4, с.846—851.

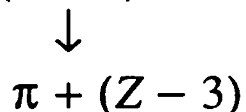
1971

Некоторые новые постановки опытов в области нейтринной физики // УФН, 1971, т.104, вып.1, с.3—14.

Поиски радиоактивности нового типа в мишенях из Al и W, облученных протонами с энергией 70 ГэВ // ЯФ, 1971, т.13, вып.4, с.786—790 (*Совместно с А.В.Демьяновым,*

А.В.Куликовым, А.В.Купцовым, Г.Г.Мкртчяном, Л.Л.Неменовым, Г.И.Смирновым, А.Г.Федуновым, Д.М.Хазинсом, Ю.М.Чиркиным).

Реакция $K^- + Z \to \pi^+ + {}_{\Lambda}(Z-2)$ // Международн. конф. по физике высоких



энергий и структуре ядра, 4-я. Дубна, 1971: Аннот. докл. — Дубна, 1971, с.84.

Энрико Ферми // Ферми Э. Научные труды. — М.: Наука, 1971, т.1, с.19—45.

Энрико Ферми — М.: Знание, 1971 (Новое в жизни, науке и технике. Сер.8. Физика).

Энрико Ферми // Природа, 1971, №9, с.90—99; 1971, №10, с. 78—89.

Heavy Lepton and Neutrino Astronomy. JINR, E2-5587. — Dubna, 1971.
То же: Письма в ЖЭТФ, 1971, т.13, вып.6, с.281—283.

1972

Крупный вклад в физику частиц (Об исследовании в области мезонной физики, выполненном в ОИЯИ и ФИАНе) // Правда, 1972, 13 августа (*Совместно с Н.Н.Боголюбовым*).

О возможности существования адронных изомеров. ОИЯИ, E1-6263. — Дубна, 1972.
То же: Международн. семинар. Баку, 1972: Материалы. — Баку, АзГУ, 1972, с.27.
То же: Письма в ЖЭТФ, 1972, т.15, вып.6, с.353—356.
То же: Phys. Lett., 1972, vol.39B, No.3, p.346—348.

Энрико Ферми в воспоминаниях учеников и друзей. — М.: Наука, 1972 (АН СССР, сер.: Научн. биогр. и мемуары ученых) (*Совместно с В.Н.Покровским*).

Interrogatives about Neutrinos // Intern. Conf. on High Energy Physics, 15th. Kiev, 1970: Proc. — Kiev: Nauk. Dumka, 1972, p.643—653.

Inverse β Decay // Solar Neutrino Conference: University of California, Irvine, 1972: Proc.

Summary of the First Part of the Neutrino-72 Europhysics Conference, Balatonfüred. — Dubna, 1972.

То же: Neutrino-72: Europhysics Conference. Balatonfüred, June, 1972: Proc. — Budapest, 1972, vol.1, p.349—369.

1973

Венедикт Петрович Джелепов (К шестидесятилетию со дня рождения) // УФН, 1973, т.110, вып.1, с.153—154 (*Совместно с В.П.Дмитриевским, Л.И.Лапидусом, М.А.Марковым, А.А.Тяпкиным*).

Научный подход и гуманизм (Круглый стол «Вопр. философии») // Вопр. философии, 1973, №6, с.50—52.

Памяти Федора Львовича Шапиро // УФН, 1973, т.109, вып.4, с.779—781 (*Совместно с И.М.Франком*).

Предисловие // Сегре Э. Энрико Ферми — физик. Пер. с англ. — М.: Мир, 1973.

The Neutrino-72 Conference // Fis. Szemle, 1973, vol.23, No.4, p.97—101.

1974

В глубинах микромира. На соискание Ленинской премии // Правда, 1974, 28 марта (*Совместно с А.А.Логуновым*).
То же: За коммунизм, 1974, 12 апреля.

Грани таланта (О Э.Ферми) // Наука и жизнь, 1974, №1, с.112—119.

Нарушение *CP*-инвариантности и странность горячей Вселенной // Известия вузов, сер. физ., 1974, №12, с.18—23.
То же: Актуальные проблемы теоретической физики. — М.: Изд-во МГУ, 1976, с.183—191.

Нейтральные слабые токи? // Письма в ЖЭТФ, 1974, т.19, вып.4, с.233—235.

Некоторые замечания в связи с поисками солнечных нейтрино // Семинар по μ–e-проблеме. Москва, сентябрь 1972: Труды. — М.: Наука, 1974, с.83—84.

Удачный эксперимент в области истории науки (Рец. на кн.: Жизнь науки. — М.: Наука, 1973) // Природа, 1974, №12, с.94—96 (*Совместно с А.Л.Минцем*).

Яков Борисович Зельдович (К шестидесятилетию со дня рождения) // УФН, 1974, т.112, вып.3, с.533—540 (*Совместно с С.С.Герштейном, И.И.Гуревичем, В.С.Имшенником, И.Д.Новиковым, Р.З.Сагдеевым*).

1975

Некоторые замечания о ψ-частицах. ОИЯИ, Р2-8576. — Дубна, 1975 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

Поиски запаздывающего излучения высокой энергии от свинцовой мишени, облученной протонами с энергией 45 ГэВ. ОИЯИ, Р1-8539. — Дубна, 1975 (*Совместно с Г.Д.Алексеевым, А.М.Зайцевым, Н.А.Калининой, В.В.Кругловым, В.Н.Кузнецовым, А.В.Куликовым, А.В.Купцовым, Л.Л.Неменовым, Д.М.Хазинсом, И.Н.Чуриным*).
То же: Intern. Conf. on High Energy Physics and Nuclear Structure, 6th. Santa Fe and Los Alamos, 1975: Abstr. — Los Alamos, 1975, p.337.
То же: ЯФ, 1975, т.22, вып.5, с.1021—1025.

Поиски метастабильных состояний с временами жизни более 5 мс в мишени из Pb, облученной протонами с энергией 60—70 ГэВ. ОИЯИ, Р1-9158. — Дубна, 1975 (*Совместно с Г.Д.Алексеевым, А.М.Зайцевым, Н.А.Калининой, В.В.Кругловым, В.Н.Кузнецовым, А.В.Куликовым, А.В.Купцовым, Л.Л.Неменовым, Д.М.Хазинсом, И.Н.Чуриным*).

«Direct» Neutrino Production and Charmed Particles. JINR, E1-8679. — Dubna, 1975.
То же: ЖЭТФ 1975, т.69, вып.2, с.452—456.
То же: Neutrino-75: Conf. Balatonfüred, 1975: Proc. — Budapest, 1975, vol.2, p.124—133.

On the Possible Violation of *CP* Invariance in the Decays of Charmed Particles. JINR, E2-8530. — Dubna, 1975 (*In collaboration with L.B.Okun, V.I.Zakharov*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1975, vol.13, No.6, p.218—220.

Quark-Lepton Analogy and Neutrino Oscillations. JINR, E2-9383. — Dubna, 1975 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Some Remarks on ψ Particles. JINR, E2-8708. — Dubna, 1957 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

1976

Аналогия между лептонами и кварками и мюонный заряд // ЯФ, 1976, т.24, вып.3, с.603—608 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

Вопрос об осцилляциях в нейтринных пучках (Сообщение на научной сессии Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР 26—27 мая 1976 г.) // УФН, 1976, т.120, вып.4, с.705—706.

Кварк-лептонная аналогия и осцилляции нейтрино // Нелокальные, нелинейные и неренормируемые теории поля: Международн. совещ., 4-е. Алушта, 1976: Материалы. — Дубна, 1976, с.363—368 (*Совместно с С.М.Биленьким*).
То же: Phys. Lett., 1976, vol.61B, No.3, p.248—250.

Поиск радиоактивных сверхплотных ядер. ОИЯИ, Р1-10202. — Дубна, 1976 (*Совместно с А.В.Куликовым*).

Поиски метастабильных состояний с временами жизни более 5 мс в мишени из Pb, облученной протонами с энергией 60—70 ГэВ // ЯФ, 1976, т.23, вып.6, с.1190—1194 (*Совместно с Г.Д.Алексеевым, А.М.Зайцевым, Н.А.Калининой, В.В.Кругловым, В.Н.Кузнецовым, А.В.Куликовым, А.В.Купцовым, Л.Л.Неменовым, Д.М.Хазинсом, И.Н.Чуриным*).

Установки для исследований свободных нейтрино // УФН, 1976, т.119, вып.4, с.633—639.

Again on Neutrino Oscillations. JINR, E2-9830. — Dubna, 1976 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1976, vol.17, No.17, p.569—574.

Oscillations in Neutrino Beams: Status and Possibilities of Observation. JINR, E2-10032. — Dubna, 1976 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Solar Neutrino Oscillations? // Активные процессы на Солнце и проблема солнечных нейтрино: Международн. семинар, 8-й. Ленинград, 1976: Материалы. — Л.: АН СССР, 1976, с.59—73 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

1977

Анатолий Алексеевич Логунов (К пятидесятилетию со дня рождения) // УФН, 1977, т.121, вып.1, с.177—178 (*Совместно с Н.Н.Боголюбовым, С.Н.Верновым, М.А.Марковым, А.М.Прохоровым, П.А.Черенковым*).

Смешивание лептонов и осцилляции нейтрино // Физика высоких энергий: Зимняя школа физики ЛИЯФ, 12-я: Материалы. — Л.: АН СССР, 1977, с.3—63 (*Совместно с С.М.Биленьким*).
То же: УФН, 1977, т.123, вып.2, с.181—215.

Conclusion // European Conf. on Particle Physics. Budapest, 1977: Proc. — Budapest, 1977, vol.2, p.1305—1308.

Europal reszecskefizikai konferencia (Заключительное слово на Европейской конференции по физике элементарных частиц. Будапешт, 4—9 июля 1977 г.) // Fiz. Szemle, 1977, vol.27, No.12, p.479—480.

Lepton Charges and Lepton Mixing // European Conf. on Particle Physics. Budapest, 1977: Proc. — Budapest, 1977, vol.2, p.1081—1108.

Lepton Mixing and the «Solar Neutrino Puzzle». JINR, E2-10545. — Dubna, 1977 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

То же: Comments Nucl. Part. Phys., 1977, vol.7, No.5, p.149—152.

Lepton Mixing, $\mu \to e + \gamma$ Decay and Neutrino Oscillations. JINR, E2-10374. — Dubna, 1977 (*In collaboration with S.M.Bilenky, S.T.Petcov*).
То же: Phys. Lett., 1977, vol.67B, No.3, p.309—312.

Die Neutrinophysik — gestern and heute (Физика нейтрино — вчера и сегодня) // Abh. Akad. Wiss. DDR., Adt., Math., Naturwiss., Techn., 1977, No.7, S.81—100.

Oscillations in Neutrino Beams: Status and Possibilities of Observation // Intern. Conf. on High Energy Phys., 18th. Tbilisi, 1976: Proc. — Dubna, 1977, vol.2, p.B112—B125 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Search for Radioactive Superdense Nuclei // Phys. Lett., 1977, vol.66B, No.2, p.136—138 (*In collaboration with A.V.Kulikov*).

1978

Evidence Against Axions from Reactor Experiments. JINR, E1-11318. — Dubna, 1978 (*In collaboration with G.V.Micelmacher*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1978, vol.21, No.13, p.441—446.
То же: Rev. Roum. Phys., 1978, vol.23, No.7/8, p.757—763.

Lepton Charges and Lepton Mixing. JINR, E2-11160. — Dubna, 1978.

Lepton Mixing and Neutrino Oscillations // Phys. Rep., 1978, vol.41, No.4, p.225—261 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Lepton Mixing and the «Solar Neutrino Puzzle» // Neutrino-77: Proc. of the Intern. Conf. on Neutrino Phys. and Neutrino Astrophys. Baksan Valley, 18—24 June, 1977. — M.: Nauka, 1978, vol.1, p.48—52 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Lepton Mixing, Neutrino Oscillations and $\mu \to e\gamma$ Decay // Neutrino-77: Proc. of the Intern. Conf. on Neutrino Phys. and Neutrino Astrophys. Baksan Valley, 18—24 June, 1977. — M.: Nauka, 1978, vol.2, p.267—269 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

1979

Николай Николаевич Боголюбов (К семидесятилетию со дня рождения) // УФН, 1979, т.128, вып.4, с.733—737 (*Совместно с В.А.Амбарцумяном, Н.Г.Басовым, А.А.Логуновым, М.А.Марковым, А.М.Прохоровым, П.А.Черенковым*).

Lepton Mixing, Neutrino Oscillations and $\mu \to e\gamma$ Decay // Hadron Structure as Known from Electromagnetic and Strong Interactions: Proc. Conf. Strbské Pleso, High Tatras. 1977. — Bratislava, 1979, p.135—148 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Tagging Direct Neutrinos. A First Step to Neutrino Tagging // Lett. Nuovo Cim., 1979, vol.25, No.9, p.257—259.

1980

Fifty Years of Neutrino Physics: a Few Episodes. JINR, E1-80-390. — Dubna, 1980.

То же: Fiz. Szemle, 1980, vol.30, No.12, p.443—454.

Majorana and Dirac Masses, Neutrino Oscillations and the Number of Charged Leptons. JINR, E2-80-399. — Dubna, 1980 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Phys. Lett., 1980, vol.95B, No.2, p.233—236.

Neutrino Oscillations in New Mixing Schemes with either Dirac or Majorana Masses. JINR, E2-80-818. — Dubna, 1980 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

On «Fast» and «Slow» Neutrinos. JINR, E2-80-421. — Dubna, 1980 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1980, vol.28, No.18, p.601—602.

1981

Fifty Years of Neutrino Physics: a Few Episodes. JINR, E1-81-117. — Dubna, 1981.

Neutrino Oscillations in New Mixing Schemes with either Dirac or Majorana Masses // Symp. on Special Topics in Gauge Field Theories. Ahrenhoop (GDR), November 1981: Proc. — Berlin, 1981, p.72—79 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Phys. Lett., 1981, vol.102B, No.1, p.32—34.

1982

Правое и левое в мире атомов // Правда, 1982, 14 марта (*Совместно с С.Т.Беляевым, И.И.Гуревичем*).

Fifty Years of Neutrino Physics: a Few Episodes // Neutrino Physics and Astrophysics: Intern. Conf., 10th. Erice, Italy, 1980: Proc. Ed. E.Fiorini. — N.Y.—London: Plenum Press, 1982, p.29—59.

The Infancy and Youth of Neutrino Physics: Some Recollections. JINR, E1,2-82-414. — Dubna, 1982.

Large Amplitude Neutrino Oscillations with Majorana Mass Eigenstates? JINR, E2-82-722. — Dubna, 1982 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Neutrino-82: Proc. of the Intern. Conf. Balatonfüred, Hungary, June, 1982. — Budapest, 1982, vol.1, p.35—41.

Truly Neutral Microobjects and Oscillations in Particle Physics. JINR, E2-82-153. — Dubna, 1982 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Neutrino-82: Proc. of the Intern. Conf. Balatonfüred, Hungary, June, 1982. — Budapest, 1982, vol.1, p.42—45.
То же: ЯФ, 1982, т.36, вып.1, с.169—171.

1983

Венедикт Петрович Джелепов (К семидесятилетию со дня рождения) // УФН, 1983, т.139, вып.4, с.741—742 (*Совместно с Н.Н.Боголюбовым, С.А.Бунятовым, К.Я.Громовым, В.П.Дмитриевским, М.А.Марковым, А.А.Тяпкиным*).

Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания // Природа, 1983, №1, с.43—57.

Нейтрино с майорановскими массами и большие амплитуды осцилляций? // Рабочее совещание по нейтринному детектору ИФВЭ—ОИЯИ, 3-е. Дубна, январь 1982: Материалы. — Дубна, 1983, с.108—115 (*Совместно с С.М.Биленьким*).
То же: ЯФ, 1983, т.37, вып.3, с.653—657.

Осцилляции нейтрино с большой длиной осцилляции несмотря на большие (майорановские) массы? // ЯФ, 1983, т.38, вып.2, с.415—419 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

Открытие медленных нейтронов: некоторые воспоминания // Нейтрон: К пятидесятилетию открытия: Сб. статей. — М.: Наука, 1983, с.240.

Страницы развития нейтринной физики // УФН, 1983, т.141, вып.4, с.675—709.

Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует // Природа, 1983, №8, с.74—76.

Fifty Years of Neutrino Physics: Several Episodes // Cesk. Casopis pro Fyziku, Sect.A, 1983, vol.33, No.6, p.593—611.

Neutrino Oscillations with Large Oscillation Length in Spite of Large (Majorana) Neutrino Masses? JINR, E2-83-126. — Dubna, 1983 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1983, vol.37, No.13, p.467—471.

Some Early Investigation on Nuclear Isomerism. JINR, E3,4-83-581. — Dubna, 1983.

1984

Neutrinos from Decays of Intermediate $W^{\pm}$ and Z^{0} Bosons JINR, E2-84-533. — Dubna, 1984 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1984, vol.41, No.16, p.531—535.

Reactor Experiments and Solar Neutrino Problem. JINR, E2-84-153. — Dubna, 1984 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).
То же: Lett. Nuovo Cim., 1984, vol.40, No.6, p.161—164.

Физика «золотых старых римских времен» (Воспоминания) // Вопросы современной экспериментальной и теоретической физики. В связи с 80-летием со дня рождения Ю.Б.Харитона. — Л.: Наука, 1984, с.148—158.

Я.Б.Зельдович (К 60-летию со дня рождения) // УФН, 1984, т.112, вып.2 (*Совместно с С.С.Герштейном, И.И.Гуревичем, В.С.Имшенником, И.Д.Новиковым, Р.З.Сагдеевым*).

Some Early Investigations on Nuclear Isomerism // La radioactivité artificielle a 50 ans, 1934—1984. — Les Editions de Physique, CNRS, Paris, 1984, p.59—68.

1985

Предисловие // Редже Т. Этюды о Вселенной. — М.: Мир, 1985, с.5—6.

Discussion of the Solar Neutrino Problem in the Light of Reactor Neutrino Oscillation Experiments. JINR, E2-85-589. — Dubna, 1985 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

Recollections on the Establishment of the Weak Interaction Notion. JINR, E1-85-583. — Dubna, 1985 (*In collaboration with S.M.Bilenky*).

1986

Осцилляции нейтрино // Научное сотрудничество социалистических стран в ядерной физике. Под ред. Н.Н.Боголюбова. — М.: Энергоатомиздат, 1986, с.37—40 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

Проблема солнечных нейтрино и реакторные нейтринные эксперименты // ЯФ, 1986, т.43, вып.5, с.1225—1230 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

1987

Памяти Льва Иосифовича Лапидуса // УФН, 1987, т.152, вып.2, с.349—350 (*Совместно с Н.Н.Боголюбовым, В.П.Джелеповым, В.П.Дмитриевским, Б.З.Копелиовичем, Ю.Д.Прокошкиным, Я.А.Смородинским, А.А.Тяпкиным*).

Neutrinos Today. JINR, E1,2-87-567. — Dubna, 1987.

1988

И.Я.Померанчук и начало физики высоких энергий // Воспоминания о И.Я.Померанчуке. — М.: Наука, 1988, с.109—114.

Neutrinos Today in the Universe and in the Laboratory // Труды VIII Международн. совещ. по проблемам квантовой теории поля, Алушта, 1987. — Дубна, 1988, с.310—321 (*Совместно с С.М.Биленьким*).

1989

Recollections on the Establishment of the Weak Interaction Notion // Pions to Quarks: Particle Physics in the 1950's: Proc. of the Intern. Symposium on ..., Fermilab, 1—4 May 1985. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1989, p.367—372.

Лев Борисович Окунь (К шестидесятилетию со дня рождения) // УФН, 1989, т.158, вып.3, с.540—542 (*Совместно с М.Б.Волошиным, В.Н.Грибовым, А.Д.Долговым, Б.Л.Иоффе, И.Ю.Кобзаревым, В.И.Коганом, А.Б.Мигдалом, В.А.Новиковым, А.П.Рудиком, К.А.Тер-Мартиросяном*).

Bruno Pontecorvo, una nota autobiografica // Scienza e Tecnica Annuario della EST, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica, 88/89, p.82—86.

1991

Ritorno a via Panisperna // Sapere, 1991, 3(935), p.30—32.

Progress in Particle Research and Reality // Proc. of Conference «Present and Future of Collider Physics», SIF, Bologna, 1991, p.359—362.

ОТКРЫТИЯ, ИЗОБРЕТЕНИЯ

1940

Process for the Production of Radioactive Substances. U.S. Patent, 2,206,634. July 2, 1940 (*In collaboration with E.Fermi, E.Amaldi, F.Rasetti, E.Segrè*).

1971

Безрадиационные переходы в мезоатомах // ОИПОТЗ, 1971, №35, с.3, открытие №100 (*Совместно с Д.Ф.Зарецким, М.Я.Балацем, П.И.Лебедевым, Ю.В.Обуховым, Л.Н.Кондратьевым, Л.Г.Ландсбергом*).

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абов Ю.Г. **II** 30
Александров Г.М. **I** 219
Алексеев Г. **I** 345
Алиханян А.И. **I** 174, 276
Алиханов А.И. **I** 201, 204; **II** 28, 135, 238
Аллисон С. **II** 124—125
Алтхауз Э. **II** 27
Альварец Л. **I** 191; **II** 26
Амальди У. **II** 217, 289
Амальди Э. **I** 6, 13; **II** 5—7, 24, 111, 113, 123, 131—132, 138, 145—146, 157, 255, 273, 286—287, 289, 291, 293—295
Амидей А. **II** 95—96, 98—100
Андерсон Г. **I** 149, 156, 164; **II** 120, 123, 125
Андерсон К. **II** 26—27, 55
Антонов О.К. **II** 166
Арбузов Б.А. **I** 322, 327
Арутюнян И.Н. **II** 67
Арцимович Л.А. **II** 64
Асатиани Т.Л. **II** 276
Ашкин Дж. **I** 149, 152

Баба Х. **II** 113
Бакал Дж. **II** 34, 52, 68, 145
Баландин М.П. **I** 135
Балац М.Я. **I** 200; **II** 240
Балашов Б.Д. **I** 135
Барбашов Б.М. **II** 266
Баргер В. **II** 54
Бардин Д. **I** 11
Баркас **II** 28
Барков Л.М. **II** 32
Бартини Р. **II** 163—167
Беккерель А. **II** 25
Беловицкий Г.Е. **I** 200
Белотти Э. **II** 60
Беляев В.Б. **I** 235
Беннет **II** 29
Березинский **II** 34
Берквист К. **II** 29, 60
Бернабо Х. **II** 273
Бернардини Дж. **I** 275, 276; **II** 30, 49, 54, 57, 100, 112—113, 183, 269, 273, 287
Бернардини К. **II** 293
Бете Х. **I** 164, 191; **II** 26—27, 33, 35, 47, 55, 113
Биленький М.С. **II** 217
Биленький С.М. **I** 12, 267, 322, 327, 335; **II** 50, 52, 60, 143, 213, 268
Блок **II** 30
Блох Ф. **II** 113
Блохинцев Д.И. **II** 188, 272
Блохинцева Т.Д. **II** 232
Блудман С. **II** 41
Богачева М.В. **II** 266
Боголюбов Н.Н. **II** 30, 163, 165, 242, 272
Больцман С. **II** 104
Бор Н. **II** 36—37, 103, 107
Борн М. **II** 106
Ботлер **II** 27
Бочарелли Д. **II** 183
Бронлей **II** 26
Будкер Г.И. **II** 30
Бунятов С.А. **II** 60
Буроп **II** 30
Бучелла Ф. **II** 273
Бушья **II** 30
Бьеркен Дж. **II** 30—31

Вавилов С.И. **II** 26
Вайнберг С. **II** 31, 34, 41
Вайскопф В. **II** 55, 64, 170
Вален Р. **II** 185, 189, 192
Ван-Гердин **II** 26
Ван дер Меер С. **II** 30
Василевская Д.П. **I** 180
Ватагин Г.В. **II** 254
Вейль Г. **II** 25, 39
Вейнрих М. **I** 178 ; **II** 28
Вейцзеккер К. **II** 107, 182
Векслер В.И. **II** 26, 141, 210, 245, 272
Вигнер Ю. **II** 28, 43, 172
Вик Дж. **II** 28, 65, 111, 113, 146, 295
Вильсон Р.В. **II** 34, 129, 143
Вильсон Ч. **II** 25
Вильямс **II** 107
Владимирский В.В. **II** 30
Вовенко А. **II** 60
Вольта А. **II** 124, 128

Вольтерра В. II 108, 119
Вольфенштейн Л. I 219; II 29, 120, 158, 218
Ву Ц. II 28—29
Вустер II 25

Гагарин Ю.А. II 170, 219
Галицкий В. I 345
Гамба II 29
Гамов Г. I 189; II 26, 33, 173
Ган О. II 8, 123, 181
Гандельман Г.М. I 189
Гарвин Р. I 137, 178 ; II 28, 120
Гарднер II 27
Гаррис II 28
Гатто Р. I 205
Гейгер Х. II 25
Гейзенберг В. II 26, 56, 106—108, 218—219
Гелл-Манн М. I 169, 172, 186, 188, 194, 246; II 28—30, 40, 56, 86, 120, 127—129, 134—135, 159
Гепперт-Майер М. II 26, 127
Герштейн С.С. I 216, 219, 230, 235, 263, 322, 327; II 26, 34, 157, 213
Глазер Д. II 27
Глэшоу Ш. II 30—31, 41, 218, 274
Голованов Я. II 166
Гольдбергер М. I 164; II 29, 120
Гольдхабер М. II 29, 39
Гольдшмидт Б. II 139, 185, 192
Горьков Л.П. II 272
Гоцини II 28
Грейсен II 33
Грибов В.Н. I 319, II 50, 143, 167, 213
Григоров I 29
Гринберг О. II 30, 60
Грошев Л.В. II 272
Гур II 32
Гуревич И.И. II 29

Давидон В. I 164
Давыдов А.С. II 272
Д'Агостино О. I 6; II 286, 293, 295
Далитц Р. II 28
Даныш М.Я. I 267; II 135—136, 218—219
де Витт Б. II 31
Демби II 30
Депомье II 29
Джелепов Б.С. II 272
Джелепов В.П. II 219, 230; II 187, 210, 228, 236, 253, 271
Джелли Дж. II 26, 226
Джентиле Дж. II 113
Джорджи Г. II 31
Диаз Т. I 200
Дикке Р. I 34
Дирак П.А.М. II 25, 43—44, 110
Доде М. II 184
Долгошеин Б.А. I 327; II 30, 34, 169
Домогацкий Г.Г. I 34, 60
Дородницын А.А. I 159
Дорфан II 29
Дрелл С. II 272
Дунайцев А.Ф. II 29
Дэвис Р. I 8, 10, 191, 211, 214, 252; II 27, 34, 45, 48, 51, 53, 67—70, 144—145, 158, 287

Евсеев В.С. I 230

Жданов Г.Б. I 27
Жолио-Кюри Ф. I 6; II 26, 37, 119, 124, 138—139, 181—182, 184—186, 188—190, 192, 211, 289
Жуков А.Г. I 230
Жуков В.А. II 217, 222, 226

Замолодчиков Б.И. I 152
Займидорога О.А. I 215, 229, 231,
Зайцев А. I 345
Зарецкий Д.Ф. I 200, 201, 203, 204; II 239
Захаров В.И. I 327; 141
Зацепин Г.Т. I 34—35, 159
Зельдович Я.Б. I 174, 189; II 27—28, 30, 34, 58—59, 286
Зинов В.Г. II 217
Золотарев М.С. II 32
Зоммерфельд А. II 106

Иваненко Д.Д. I 322; II 26, 38
Ивантер И.Г. I 174
Игнатенко А.Е. I 149
Иллиопулос Дж. II 31
Импедулья II 29

Йордан П. II 43, 106

Кабиббо Н. I 205, 335; II 29, 56, 286, 295
Кадышевский В.Г. II 236
Калинина Н. I 345
Кальман II 26
Камерини II 30, 48
Капица П.Л. I 219, 230; II 58, 170, 219
Карнаухов В. I 345
Каррен II 47

Кассоли **II** 31
Кастельнуово **II** 108, 117
Келдыш М.В. **II** 72, 163
Кеммер Н. **II** 26
Кери **II** 26
Керран **II** 26
Киселев В.С. **II** 253
Киркби Я. **II** 32
Клайн Д. **II** 30
Клейн О. **II** 26—27, 140
Клемс **II** 30
Кобзарев И.Ю. **I** 244, 245, 258, 274, 283; **II** 29, 49
Коварский Л. **II** 139
Коккони Дж. **II** 112
Колгате **I** 34
Комптон А. **II** 124
Конверси М. **I** 7, 200 ; **II** 27—28, 55, 112
Кондратьев Л.Н. **I** 200
Конопинский Э. **II** 27
Корбино О. **II** 7, 105—106, 111—113, 117, 121—123, 132, 138
Коренченко С.М. **I** 274; **II** 142, 217
Королев С.П. **II** 165—166
Коуэн К. **I** 8, 191, 196, 198; **II** 27, 47, 53, 67, 74, 80, 158—159
Кочкин В.И. **I** 235
Кривицкий В.В. **I** 144
Кристенсен К. **I** 29
Кристофилос **I** 27
Кришнасвами **I** 34
Кронин Дж. **I** 29
Круглов В. **I** 345
Крузе У. **I** 165
Кузнецов В.В. **I** 219
Кузнецов В.М. **I** 219, 230, 345
Кузьмин В.А. **I** 317; **II** 68, 158
Куликов А.В. **I** 342; **II** 264
Кулюкин М.М. **I** 215, 229, 231; **II** 254
Купцов А. **I** 345
Курчатов Б.В. **II** 272
Курчатов И.В. **II** 125, 160, 182, 210
Кюри И. **II** 26, 119, 181, 186, 189—190

Лаберриг-Фролова Ж. **II** 181, 187
Лазар А. **II** 139, 184
Лангсдорф **II** 26
Ландаскер Р. **II** 54
Ландау Л.Д. **I** 167, 240; **II** 26, 39, 74, 84—86, 129, 160, 170, 219
Ланде **II** 28, 35
Ландсберг Л.Г. **I** 200; **II** 219, 238
Ланжевен П. **II** 107
Ланжевен Э. **II** 189
Лапидус Л.И. **I** 154, 167, 219, 230, 235, 274, 336
Латтес Ч. **II** 27, 55, 58
Лебедев Н.В. **I** 219, 230
Лебедев П.И. **I** 200
Леви **II** 29
Леви-Чивита **II** 108, 119
Ледерман Л. **I** 9, 178; **II** 28, 32, 58, 89, 159, 213, 256, 272, 287
Лейвимс Г. **II** 54
Лейпунский А.И. **II** 26, 36, 78
Лейте Лопес Ж. **II** 58
Леманн П. **II** 190
Лепренс-Ренге Л. **II** 27, 190, 192
Ли **II** 29
Ли Т.Д. **I** 205, 258; **II** 26, 39, 63, 74, 84—86, 120, 129, 170, 218
Линденбаум С. **I** 163, 164
Липманов Э.М. **I** 198
Лифшиц Е.М. **II** 219
Лобашов В.М. **II** 30, 167
Лов В. **I** 195
Логунов А.А. **II** 170
Локанатан С. **I** 182
Лонго Л. **II** 162
Лондон Г. **II** 113
Лоренц Х. **II** 107
Лоу Ф. **I** 163
Лоуренс Э. **II** 124
Любимов В.А. **II** 32, 38, 70
Людерс Г. **II** 28

Мазе **II** 55
Майани Л. **II** 31
Майорана Э. **II** 26, 37, 41—46, 48, 50, 107, 112—114, 146, 172, 190, 272
Маки **II** 30, 50
Мак-Кей **II** 26
Мак-Кензи К. **II** 26
Макмиллан Э. **II** 26, 210
Мальро А. **II** 194
Мамасахлитов В.И. **II** 272
Маркин О. **I** 345
Марков М.А. **I** 254; **II** 29—30, 33—34, 57, 88, 93, 159, 272
Маркс Д. **II** 27, 170
Маршак Р. **I** 188 ; **II** 27—29, 40, 55—56
Масевич А.Г. **I** 214
Мафаи М. **II** 273, 286
Махмуд Х. **II** 27
Мессбауэр Р. **II** 173
Мещеряков М.Г. **II** 210, 222, 271—272

Миазава Х. I 164
Мигдал А.Б. I 342, 345; II 169, 172, 174, 219, 240, 266, 272
Микаэлян Л.А. II 32б 268
Миллс II 28
Михеев С. II 158
Мицельмахер Г.В. I 341; II 217
Мишель Л. II 27, 57, 192
Мишустин И. I 345
Миямото II 29—30
Мо Л. II 29
Мондадори А. II 137
Мурзин В.С. II 29
Мун II 7
Муссолини Б. II 121—122
Мухин А.И. I 144, 149, 155, 178, 274, 278, 331, 327; II 29, 140, 142, 217
Мысовский Л.В. II 25
Мюллер Э. II 25

Накагава М. II 30, 50
Намбу Й. II 30
Неганов Б.С. II 167
Недермейер II 26
Незрик Ф. I 282
Нейман фон Дж. II 109, 124, 173
Неменов Л.Л. I 345; II 217, 258
Неренсон II 27
Никитин К. II 28
Нишиджима К. II 28, 159
Новиков И.Д. I 322; II 34
Нордблом М. II 169, 185—186, 210, 236, 274—275, 279

Обухов Ю.В. I 200
Оганесян К.О. II 253
Оеме Р. I 164
Оже П. II 54—55, 67, 185
Озеров Е.Б. I 149, 178
Оккиалини Дж. II 27, 54—55, 58, 183, 194, 269, 276, 293
Оконоги Х. II 30, 50
Окубо С. II 29
Окунь Л.Б. I 168, 174, 189, 198, 244, 245, 268, 278, 283, 321,322, 327, 341; II 29—30, 49, 60, 141, 167, 174, 213, 218, 273
Омнес А. I 194, 316
Онеда С. I 194
Оппенгеймер Р. II 124, 274
Ореар Дж. I 157—159, 162, 166
Орехов В.И. I 219, 230
Орлов Ю. II 163
Осборн I 34

Пайерлс Р. I 191; II 26, 35, 47, 113
Пайс А. I 9, 169, 172; II 28, 134, 212, 238, 271
Пакваса С. II 53—54
Пакстон II 26
Панчини М. I 7; II 27
Пасечник М.В. II 272
Пати Ж. I 194; II 31
Паули В. I 236, 237; II 24—25, 28, 35—38, 48, 72—73, 76—78, 106—108, 110, 118, 218—219, 295
Пауэлл С. II 27, 55, 58
Пензиас А. I 34, 129, 143
Перл М. II 32
Перрен Ф. II 38
Персико Э. II 95, 97, 99, 103—104, 108, 110
Петков С. I 336; II 60
Петрухин В.И. I 274
Пешков В.П. I 219, 230; II 160
Пикельнер С.Б. I 214
Пинаев В.С. I 18, 249
Пино М. II 192—193
Пираджино Г. II 169, 254
Пиччиони О. I 7, 169 ; II 27 II 27—28, 112, 238
Планк М. II 107, 112
Плачек Г. II 113, 139
Подгорецкий М.И. I 283, 322, 341
Поенко В.Ф. I 219, 230
Покровская И.Г. II 172, 187, 228, 244
Поликанов С.М. I 345; II 167
Померанчук И.Я. I 146, 283; II 49—50, 133—136, 173, 218, 266, 272
Пономарев Л.И. II 167
Понтекорво Антонио II 211, 242, 279
Понтекорво Гуидо II 137—138
Понтекорво Джилло II 137, 169—170, 220, 234, 242, 287
Понтекорво Джиль I 219, 230; II 185, 211, 242, 254, 266, 274—275, 279—280
Понтекорво Джулиана II 137
Понтекорво Паоло II 137
Понтекорво Тито II 211, 242, 251, 256—257, 274—275, 279
Попов В.Н. II 31
Попова И.В. I 167
Потехин А.Г. I 219, 230
Прайсверк П. II 48
Прескотт К. II 32
Примаков Г. I 231, 235, 265

Прокошкин Ю.Д. **II** 29, 167
Пуппи Дж. **I** 7; **II** 27, 140

Разетти Ф. **I** 6, 13, 15; **II** 6 , 27, 37, 54, 95, 103—104, 110, 111, 118, 120, 132, 138, 146, 286, 293—295
Райнес Ф. **I** 8, 11, 191, 196, 198, 245, 282; **II** 27, 32, 34, 47, 53, 67, 74, 80, 157, 159
Рака Дж. **II** 45, 111, 113
Резерфорд Э. **II** 7, 25, 37, 58, 65, 104, 119, 126, 131
Рихтер Б. **II** 31
Ричардс **II** 26
Робсон **II** 26, 29
Розенфельд А. **II** 120
Росси Б. **II** 27, 111, 113, 194, 276, 293
Рочестер Дж. **II** 27
Руббиа К. **I** 268; **II** 29—31, 170—171
Румер Ю.Б. **II** 165
Рындин Р.М. **I** 205, 322; **II** 58

Саката С. **II** 30, 50
Сакураи Дж. **II** 28
Салам А. **II** 28, 31, 41, 60, 85—86, 129
Сальвини Дж. **II** 187, 210, 293
Сапожников М.Г. **II** 214
Сард Р. **II** 27
Саржент В. **II** 56
Сахаров А.Д. **I** 317; **II** 161, 215, 274, 286
Сегре Э. **I** 6, 13; **II** 5, 28, 48, 95—96, 103, 107, 111, 117, 124—125, 129, 131, 138—139, 146, 214, 269, 286, 289, 293, 295
Селиванов Г.И. **I** 135, 145; **II** 141—142, 224, 252, 262
Сиборг Г. **II** 47, 139
Сисакян А.Н. **II** 236, 241
Скринский А.И. **II** 30
Смирнов А. **II** 158
Смородинский Я.А. **I** 147, 193, 198, 209, 327; **II** 33—34, 143, 165, 187, 213, 233, 258
Снель **II** 26
Собель Х. **II** 32
Содди Ф. **II** 181
Соловьев В.Г. **II** 271
Сорокин Г. **I** 345
Сороко Л.М. **II** 269
Спивак П.Е. **II** 26, 167
Станюкович К.П. **II** 166
Стивенсон Л. **II** 272
Стролин П. **II** 291
Струминский **II** 30
Сударшан Э. **I** 188; **II** 26, 40, 56
Сулак **II** 34
Суляев Р.М. **I** 215, 229, 231; **II** 55, 140, 213
Сцилард Л. **II** 124

Тавхелидзе А.Н. **II** 30, 170
Тамм И.Е. **I** 167, 188
Телегди В. **II** 28—29
Теллер Э. **II** 26, 113
Тентюкова Г.Н. **I** 167
Тер-Мартиросян К.А. **II** 168, 218
Тилман **II** 7
Тинг С. **II** 31
Тойода А. **II** 30, 50
Токарская А.И. **I** 230, 235
Третьяков Е. **II** 32
Тримэн **II** 29
т'Хофт Г. **II** 31
Тяпкин А.А. **II** 28, 241

Уайт **I** 34
Уайтман **II** 28
Уайтхед **II** 28
Уилер Т. **I** 200, **II** 239
Уилкинсон Д. **I** 185
Уленбек Дж. **II** 113

Фаддев Л.Д. **II** 31
Фаломкин И.В. **I** 219, 229, 231; **II** 29
Фано У. **II** 112—113
Фарджион Д. **II** 294
Фарри В. **II** 26, 45
Фаулер В. **II** 33—34, 68
Фацини **II** 29
Фейнберг Дж. **I** 194
Фейнман Р. **I** 186, 188, 194, 246; **II** 26, 31, 40, 55, 86, 129, 170
Фельдман **II** 32
Ферми (Капон) Л. **II** 95, 107, 121
Ферми Э. **I** 6, 13, 15, 149, 155, 157; **II** 5—8, 26, 37—40, 42, 48, 55, 71, 76—77, 79, 86, 95—130, 131—132, 137—140, 142, 145—146, 157, 161, 172—173, 181, 184, 190, 194, 211, 214, 224, 238, 241, 246, 266, 272, 274, 286—287, 289, 293—295
Феррети **II** 112
Фидекаро Дж. **II** 29, 257
Филимонов А.И. **I** 219, 230
Филиппов А.И. **I** 215, 229, 231
Филиппов А.Т. **I** 322, 327

Фитч В. **II** 28—29
Флеров Г.Н. **II** 167—168, 268, 272
Флягин В.Б. **II** 252
Фогель П. **II** 50
Фрай В. **I** 216
Франк Дж. **II** 124
Франк И.М. **II** 168, 272
Франк-Каменецкий Д.А. **I** 189
Фрауенфельдер **II** 28
Фридман А.А. **I** 251
Фрош **II** 32
Фруассар М. **II** 190
Фрэмптон П. **II** 50
Фуджи А. **I** 235
Фукс К. **II** 161
Фукуи **II** 29

Хазинс Д. **I** 345
Халбан Х. **II** 139
Хан Э. **II** 30
Ханна Г. **II** 26, 48, 68, 145
Хемингуэй Э. **II** 162
Херманcфельт **II** 28
Хиггс П. **II** 30
Хильдебранд Р. **II** 29—30, 55
Хинкс Э.П. **II** 27, 56—57, 140
Хойл Ф. **II** 34
Хоутерманс **II** 173
Хриплович И.Б. **II** 30

Цвейг Дж. **II** 30
Цигаль В.Е. **II** 278
Цупко-Ситников В.М. **I** 215, 229, 231

Чадвик Дж. **I** 6; **II** 25—26, 37
Чандрасекар С. **II** 127
Чемберлен О. **II** 28, 120
Черенков П.А. **II** 26
Честной А.В. **I** 152

Чжоу Гуанчжао **I** 193, 198
Чиковани Г. **II** 30, 276
Чу Дж. **I** 163; **II** 120
Чудаков А.Е. **II** 34, 159
Чурин И. **I** 345

Шайн М. **I** 137, 142; **II** 141
Шапиро Ф.Л. **II** 167
Шарпак Дж. **II** 31
Шванева Е.А. **I** 230, 235
Шварц М. **I** 9 ; **II** 29, 57—58, 89, 159, 213, 256, 287
Швингер Ю. **II** 28 **II** 28
Шенберг М. **I** 189; **II** 33
Шмушкевич И.М. **I** 146
Шредингер Э. **II** 108, 112, 117, 122
Штейнбергер Дж. **I** 9, 182; **II** 27, 29, 57—58, 89, 120, 159, 213, 256, 272, 274, 287
Штернгеймер Р. **I** 164
Штрассман Ф. **II** 8, 123

Щербаков Ю.А. **I** 215, 229, 231; **II** 254—256

Эддингтон А. **II** 165
Эйнштейн А. **II** 65, 107
Эллис **II** 25, 36
Эренбург И. **II** 162
Эренфест П. **II** 106—107
Эренфест П. мл. **II** 54, 185, 192

Юан Л. **I** 163 **I** 164
Юкава Х. **I** 241; **II** 26, 55

Явелев Б. **II** 60
Янг Ц.Н. **I** 205, 258; **II** 28, 39, 63, 74, 84—86, 114, 120, 128—129, 218
Ярлског С. **II** 60

Ageno M. **II** 198
Alikhanov A.I. **II** 206
Allen J.S. **I** 32, 49, 52—53
Allen W. **II** 152
Althaus E.J. **I** 68, 79, 114; **II** 201
Alvarez L. **II** 203
Amaldi E. **I** 17, 25, 306; **II** 10, 151, 178, 195, 198—199
Anderson C. **I** 39, 83, 114, 115; **II** 200
Angus J. **I** 122, 128
Anisovitch V.V. **I** 300
Aradine **I** 25

Auger P. **I** 82; **II** 197, 200, 202—203

Bahcall J. **I** 380
Baier B.N. **I** 227
Baldo Ceolin M. **I** 398
Bardin D.Yu. **I** 295, 301, 315
Barnes **I** 25
Becquerel A. **I** 388
Bennedetti de **II** 178
Benson B. **I** 118
Bernardini G. **I** 118; **II** 14, 178, 200, 205
Bethe G. **I** 35, 56, 101, 131; **II** 179

Bilenkaya S.I. **I** 305
Bilenky S.M. **I** 227, 295, 301, 315, 331, 347, 353, 376, 378, 382, 389—390, 396, 400, 406; **II** 22, 150
Bjorken J. **I** 315
Blackett P. **II** 147
Bloch F. **I** 53, 51, 101, 131
Bludman S. **I** 226
Bocciarelli D. **II** 14
Bothe W. **II** 10
Botterill D.R. **I** 297
Bretscher **I** 22
Brown L. **I** 84
Brown Laurie **II** 18

Cabibbo N. **I** 379 ; **II** 20
Camerini **II** 204
Chadwick J. **I** 46; **II** 18
Chalmers T. **II** 13
Chamberlain O. **II** 175
Chaminade **I** 82
Chew G.S. **II** 175
Chou Huang Chao **I** 208
Chudakov A.E. **I** 305, 311
Cocroft J.D. **I** 128; **II** 196—197
Collins **I** 25
Conversi M. **I** 39, 83; **II** 151, 200
Corson D. **I** 118
Cowan C.L. **I** 176; **II** 204
Crane H.R. **I** 50—51
Curie I. **II** 9, 16, 195
Curran S.C. **I** 63, 65, 127—128; **II** 203

D'Agostino O. **II** 195
Dallaporta N. **II** 21
Danby G. **II** 206
Dancoff S. **I** 23
Davidson W.F. **I** 31
Davis R. **I** 175, 289, 378, 380; **II** 204
Denisov S.N. **I** 389
Dode M. **I** 24
Dunworth J.V. **II** 197

Ehrenfest P. Jr. **II** 200
Eisl A. **I** 127
Ellis C.D. **I** 46—47

Fano U. **I** 49, 70, 131
Feather **I** 22
Feinberg G. **I** 286; **II** 179, 206
Fermi E. **I** 17, 31, 47, 51; **II** 12, 16, 20—21, 148—150, 153, 175, 178, 195, 198—200, 204
Feynman R. **I** 225; **II** 20
Fidecaro G. **II** 195
Fierz **I** 35
Fletcher J.C. **I** 114
Flowers B. **II** 196
Forster H.K. **I** 114
Frisch O.R. **I** 17, 33, 62, 131, 134

Gamow G. **I** 37
Garwin R. **II** 21
Gell-Mann M. **I** 226, 396; **II** 18, 20, 22, 179
Gentner W. **II** 10
Gerbes W. **I** 127
Gershtein S.S. **I** 224, 227, 315, 398
Glashow S.L. **I** 379
Goldberger M. **II** 175
Goldhaber M. **I** 24, 286; **II** 14—15
Golutvin I.A. **I** 389
Granshaw T.E. **I** 126, 134
Gray L.H. **I** 127
Greisen K.I. **I** 91
Gribov V.N. **I** 289, 315, 359; **II** 150
Grishin V. **I** 315

Hahn O. **I** 22, 46; **II** 9
von Halban H. **I** 17; **II** 196
Halford **I** 23
Halpern J. **I** 50—51
Hanna G.C. **I** 43, 60, 63, 120, 124, 131, 134; **II** 202—203, 207
Harvey M. **II** 207
Hebb M.H. **I** 20, 23, 53, 51
Heitler W. **I** 101, 131
Hildebrand R. **II** 19
Hill R. **I** 24; **II** 14
Hincks E.P. **I** 39, 57, 66, 82; **II** 19, 197, 201—202, 205
Hošek J. **I** 395
Hurst D.G. **I** 80, 134; **II** 197, 207

Iliopoulos J.I. **I** 379
Ioffe B.L. **I** 225, 293

Jacobsen **I** 32, 53
Jacquet **I** 17
Jelley J.V. **I** 82, 90 , 107
Joliot-Curie F. **II** 9, 11, 13, 15—16, 195

Kang Chang Wang **I** 52
Khlopov M.Yu. **I** 398
Khovansky V. **I** 409
Kirkwood D.H.W. **I** 43, 60, 134; **II** 196, 203
Kiselev V.S. **I** 305

Klein O. **II** 20, 150
Kobzarev I.Yu. **I** 221, 224, 292—293, 315
Koch **I** 17
Kofoed-Hansen O. **I** 32, 53
Konopinski E. **I** 41, 51, 55, 392
Korenchenko S. **I** 363, 386
Korff S. **I** 118
Kurchatov B. **II** 10—11
Kuz'min V.A. **I** 397

Landsberg L.G. **I** 311
Lattes G. **I** 66, 82, 388
Lazard A. **I** 25 ; **II** 15
Lecoin M. **I** 47
Lederman L. **II** 18, 178—179
Lee T.D. **I** 207; **II** 20, 175—176, 179
Leighton **I** 84, 114, 115
Leipunsky A.I. **I** 49—50
Lewis W.B. **I** 80, 115, 134

MacDonald F. **I** 115
Mackenzie C.J. **II** 202
Madsen B. **I** 119
Mahmoud H. **I** 392
Maiani L. **I** 379
Majorana E. **II** 204
Mandelzveig V.V. **I** 224
Mann A.K. **I** 355
Markov M.A. **I** 311, 398; **II** 205
Marshak R.E. **I** 38; **II** 20
Maze **I** 82
Meitner L. **I** 46—47
Melvin J. **II** 207
Mikaelian L.A. **I** 305
Mitselmakher G.V. **I** 300, 334, 386
Moller C. **I** 49, 51
Mooney E. **I** 80, 115
Morrison **I** 23
Mukhin A.I. **I** 293, 389
Munn A.X. **II** 197
Muratori G. **II** 197, 207

Neganov B.S. **I** 398
Nemenov L.L. **I** 311
Nezrick F.A. **I** 293
Nguyen van Hiey **I** 224
Nikitin S. **I** 119
Nishijima K. **II** 22
Nordheim L.W. **I** 67, 84

Occhialini G. **I** 66, 82, 388; **II** 14, 147, 200
Ogata K. **I** 286
Okun L.B. **I** 177, 221, 224, 227, 288, 292—293, 300, 305, 311, 315, 328, 334, 398
Oneda S. **II** 205
Orthmann W. **I** 47

Pais A. **I** 176, 396; **II** 21, 207
Parkinson G.B. **I** 80, 90 , 115
Pati J.C. **II** 205
Pauli W. **I** 31, 47; **II** 179, 204
Pavlov N.I. **I** 224
Peierls R. **I** 35, 56
Petcov S.T. **I** 376, 382; **II** 203
Piccioni O. **I** 39, 79, 80, 83, 114, 176; **II** 201
Piragino G. **II** 207
Placzek G. **I** 18
Podgoretsky M.I. **I** 334
Polikanov S. **I** 315
Pomeranchuk I. **I** 176—177, 293; **II** 21
Pontecorvo Guido **II** 195
Pontecorvo Tito **II** 200
Powell C. **I** 66, 82, 388; **II** 147
Preiswerk P. **II** 204
Preston M. **I** 176
Puppi G. **II** 20, 150

Quercia I. **II** 197

Rasetti F. **I** 25, 80, 96; **II** 153, 178, 195, 200
Reines F. **I** 176, 293, 305, 308; **II** 179, 204
Roberts G.E. **I** 82—83
Rosenbluth M. **II** 20, 175
Rossi B. **I** 118, 128; **II** 147, 178
Rothwell P. **I** 129
Roussinow L. **I** 23; **II** 13
Rubbia C. **I** 404
Rutherford E. **I** 46; **II** 18
Ryndin R.M. **I** 207, 227, 288; **II** 206

Salvini G. **II** 147, 153
Sard R.D. **I** 68, 79, 114; **II** 201
Sargent W.B. **I** 80, 115, 134; **II** 12, 196, 202
Schein M. **II** 22
Schwartz M. **II** 176, 179—180, 206
Seaborg G.T. **I** 23—24; **II** 195, 202
Segrè E. **I** 17—18, 23—24; **II** 178, 195—196, 204
Seriff **I** 114, 115
Shirkov D. **I** 315
Skinner H. **II** 199
Snyder H.S. **I** 62, 131
Soddy F. **I** 22; **II** 9
Soloviev V. **I** 315

Stairs D. **II** 207
Staub H. **I** 118, 128
Steinberger J. **I** 84, 103, 115; **II** 175, 201, 205
Sudarshan A. **II** 20
Sulyaev R. **II** 19
Szillard L. **I** 24; **II** 13—14, 16

Takaoka N. **I** 286
Teller E. **II** 199
Thompson R.W. **I** 115
Tiomno J. **II** 20
Tolstov K. **I** 315
Tyapkin A.A. **I** 221

Uhlenbeck G. **I** 20, 23, 41, 51, 55

Vainstein A.I. **I** 330
Vasilevsky I.M. **I** 221
Vassilkov R. **I** 311
Veksler V.I. **I** 221
Vishnyakov V.V. **I** 221

Walker C. **I** 115
Ward A.G. **I** 134
Weisskopf V. **I** 25; **II** 199
Weizsacker C. **I** 17, 20, 22; **II** 11—13
West D. **I** 120, 126, 129, 134
Westcott C. **I** 120
Wheeler J.A. **II** 20
Wick G.C. **I** 80, 195
Wilkinson D.H. **I** 134
Williams E.J. **I** 82—83
Wilson R. **I** 118
Wolfenstein L. **I** 285, 293, **II** 175
Wooster W.A. **I** 47

Yang C.N. **I** 207; **II** 20, 175—176
Yukawa H. **I** 66, 57, 82; **II** 19, 200—201
Yusephovich A. **I** 23; **II** 13

Zakharov V.I. **I** 328
Zatsepin G.T. **I** 305
Zeldovich Ya.B. **I** 208, 392
Zlotowski I. **I** 47

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Антивещество, антимиры **I** 174, 209, 210, 252, 254, 316, 317, 322; **II** 92—93
Атомная бомба, создание **II** 124—125, 173, 286

Великого объединения теории **II** 54
Вселенная **I** 174, 209—211, 212—214, 241, 251—255, 316—322; **II** 33—34, 76, 91, 108, 129, 164—165, 213, 295

Гиперядра **II** 135—136, 218

Двойной бета-распад **I** 275, 277—278, 341; **II** 26, 40, 45—46, 60
Дирака нейтрино **II** 41, 44—46, 60

Заряженные токи **I** 194, 246, 335, 337; **II** 31

Конверси—Панчини—Пиччиони эксперимент **I** 7; **II** 54, 140, 274, 295

Лептонного заряда сохранение **I** 275—277, 283; **II** 27, 87
Лептонов смешивание, схемы **I** 6, 12, 336—340; **II** 30, 50—51, 158, 295

Майораны нейтрино **I** 275, 277, 279, 338, 340; **II** 26, 41, 44—47, 49, 51, 53, 60
Масштабная инвариантность, теории **I** 336; **II** 30 **II** 30—31
Миллислабое взаимодействие **I** 322
Мюона распад $\mu \to e + \gamma$ **I** 195, 243, 276—324, 336—338, 340; **II** 27, 56, 87, 140, 142, 159
Мю-мезоатомы **II** 66, 140

Нейтральные токи **I** 246—247, 251, 335, 337; **II** 26, 31, 34, 41, 59, 143
Нейтрино, аномальное $\nu_\mu N$-взаимодействие **I** 244, 256; **II** 41, 141
Нейтрино, магнитный момент **I** 283
Нейтрино масса, из β-распада трития **I** 338; **II** 26, 32, 38, 70, 159
Нейтрино, прямые, от распадов очарованных частиц **I** 323—327; **II** 142
Нейтрино от
— звезд **I** 189, 277, 247—250, 253—254, 255—256; **II** 34, 90—91
— реликтовые нейтрино во Вселенной **I** 209—211, 251; **II** 33—34, 143, 295
— Солнца **I** 7, 10—11, 189, 277, 248—249, 254—256, 282—283, 340; **II** 33—35, 39, 48, 50—54, 60, 67—70, 74, 90—94, 143—145, 157—159, 212, 287, 295
— ускорителей **I** 9, 243—244, 282, 324; **II** 29, 39, 57—60, 86—89, 141
— ядерных реакторов **I** 7, 191, 238, 246—247, 282; **II** 27, 35, 39, 45, 47—48, 67, 80, 159—160
Нейтрино, разность ν_e и ν_μ **I** 9, 191—198, 243—244, 256, 276; **II** 30, 58—59, 75, 88—89, 141, 159, 212, 287
Нейтрино, разность ν_e и $\bar{\nu}_e$ **I** 239, 275
Нейтрино-электронное взаимодействие **I** 188—189, 206, 211, 246—247, 249—250, 255; **II** 90, 143, 213
Нейтроны:
— эксперименты с медленными нейтронами **I** 6, 13—16; **II** 5—8, 119—120, 125, 131—132, 138, 157, 181, 184, 211, 294—295
— нейтронный каротаж **I** 6; **II** 65, 71, 116, 139

Осцилляции:
— каонов **I** 10, 169—170, 319, 322, 339; **II** 28, 49, 51, 141, 212, 218
— мюоний-антимюоний **I** 172—174, 195, 276; **II** 49, 142
— нейтрино **I** 10—12, 277, 279, 280—283, 339—340; **II** 28, 34, 40, 44—45, 48—54, 69—70, 142—144, 158—159, 174, 212, 226, 268, 273, 291, 295
— *D*-мезонов **II** 141
Очарованные частицы **I** 323—327; **II** 30, 32, 39, 58—59, 141

Пионная конденсация **I** 342, 344; **II** 142
Понтекорво реакции аннигиляции антипротонов **I** 153—154
Промежуточный векторный бозон **I** 228, 205, 241, 324; **II** 58, 86—88
Пропорциональные счетчики **I** 8; **II** 25, 38, 47—48, 68, 144, 225
Процесс URCA **I** 250; **II** 33

Радиоактивность, искусственная **I** 13; **II** 26, 119, 183
Райнеса—Коуэна опыт **I** 196, 198, 211, 214, 238, 252, 254

Сверхплотные ядра **I** 342—345
Суперслабое взаимодействие **II** 29, 218

Универсальность слабого взаимодействия **I** 168, 188, 211; **II** 55—57, 140, 157, 211, 274—275

Хиггса механизм **II** 31
Хлор-аргоновый метод **I** 7, 239; **II** 27, 33—34, 45—48, 51, 67—68, 84, 92, 143—144, 157—159, 186, 192, 211, 287

Эксперименты на 670 МэВ синхроциклотроне ОИЯИ:
— безрадиационные переходы в тяжелых μ-атомах **I** 200—204, **II** 328—329
— измерение полной вероятности захвата μ в ^{3}He **I** 231—235
— измерения реакции $\mu^- + {}^3\mathrm{He} \to {}^3\mathrm{H} + \nu$ **I** 215—219, 229—230; **II** 29, 78, 140, 160, 213
— пион-нуклонное рассеяние в области Δ(33)-резонанса **I** 149—152, 155—167; **II** 142, 212
— рождение π-мезонов в *NN*-взаимодействиях **I** 9, 145—148; **II** 142, 212, 252—253
— рождение Λ-гиперона **I** 9, 135—144; **II** 141, 212, 266
— энергетическая зависимость асимметрии распада μ^+–e^+ **I** 178—186
Электрослабого взаимодействия модель Глэшоу—Вайнберга—Салама **I** 10—11, 337 ; **II** 25, 31—32, 37, 41, 58—59

Ядерная изомерия **I** 6, 342; **II** 139, 181—184, 190, 211

C-четность и нарушение **I** 240; **II** 28, 39
CP-симметрия и нарушение **I** 209—210, 251, 277, 283, 316—322; **II** 25, 28—29, 39, 84, 141, 218
CPT-теорема **I** 277; **II** 28
Ga–Ge радиохимический метод **I** 8, 340; **II** 68, 158—159
P-четность и ее нарушение **I** 168—169, 178—179, 240, 258; **II** 28, 30, 32, 39, 59, 63, 84, 271
V–A модель слабых взаимодействий **I** 9, 228; **II** 25, 28—29, 40, 55—56
$\Delta S = 1$ правило отбора **I** 169
Λ-гиперон, механизмы образования **I** 135—137, 142—144; **II** 212, 266
μ-мезоатомы **I** 200—204, 263—267; **II** 238—239

Artificial radioactivity **I** 22, 24; **II** 9—10, 16

Charged currents **I** 226, 332, 352, 357, 382, 384, 385, 400—401
Charmed particles **I** 328—329, 385, 388—388
Chlorine–Argon method **I** 34—36, 289, 357, 378; **II** 176, 202—204
Conversi—Pancini—Piccioni experiment **I** 37, 57, 67, 83; **II** 19, 150, 175, 197, 199—201
CP symmetry and violation **I** 285, 290, 328—330, 348, 392, 396—398; **II** 180

Dirac neutrino **I** 353, 360, 366—367, 371, 379, 390—394, 396, 407
Double beta decay **I** 285—288, 334, 364, 367, 392, 409

Ga–Ge radiochemical method **I** 333, 352, 357, 409
Geiger—Muller counter **I** 17, 54, 57, 71, 73—74, 82, 84—85, 118, 121, 222; **II** 12, 14, 178, 201, 203, 204, 207
Glashow—Weinberg—Salam theory of electroweak interaction **I** 332, 363, 366—367, 393; **II** 20
Grand Unification Theories **I** 390, 397

Hadron isomers **I** 312—315
Higgs boson **I** 386, 400; **II** 20, 153

Intermediate vector bosons **I** 207—208, 221, 225, 382, 385, 400—401; **II** 206
Inverse β process **I** 31—36, 56, 175; **II** 148—149, 202, 204

Lepton charge conservation **I** 175, 289—290, 292, 298—299, 347—348, 353—354, 357—358, 360, 363—364, 371, 378; **II** 180
Lepton mixing schemes **I** 352—353, 357—360, 362—363, 365—367, 368—369, 371—373, 375—376, 378—380, 382, 385—386, 390—394; **II** 150

Majorana neutrino **I** 176—177, 288, 291, 331, 332, 334, 347—352, 353, 358—359, 362—367, 371, 379, 390—394, 397, 407, 409
Milliweak interaction **I** 292, 385
Muon decay $\mu \to e + \gamma$ **I** 207, 225—227, 331, 332, 334, 360, 362—363, 365, 367—368, 371, 373—376, 380, 382—386; **II** 206

Nuclear isomerism **I** 17—18, 20—25, 312; **II** 9—16
Neutral currents **I** 224, 225—227, 331—332, 352, 367, 374, 384, 385—386 , 400—403; **II** 20
Neutretto **I** 83; **II** 205
Neutrino from
— accelerators **I** 353—355, 357, 369, 380, 388—389, 400, 406, 409
— nuclear reactors **I** 41—42, 176, 293, 301, 333, 351, 353—355, 357, 365, 369, 380, 400, 402—404, 406—409; **II** 149, 204
— Sun **I** 41, 289—290, 293, 333—334, 351—352, 353—357, 360, 362, 365, 369, 371—373, 378—380, 400, 402—404, 406, 408—409; **II** 150—151, 176, 204
— stars **I** 403
Neutrino, anomalous $\nu_\mu N$ interaction **I** 221—224; **II** 207

Neutrino, difference ν_e and ν_μ **I** 221, 224; **II** 149, 176, 179—180, 204—205
Neutrino, direct **I** 388—389
Neutrino-electron interaction **I** 301, 304
Neutrino magnetic moment **I** 304
Neutrino mass:
— from β decay (of tritium) **I** 75, 351, 390; **II** 203
— from the recoil of nuclei in β decay **I** 32, 48—56
Neutrino tagging **I** 388
Neutrons:
— experiments with slow neutrons **I** 17—18, 22, 24—25; **II** 10, 12—14, 195, 197
— neutron well logging **I** 27—30; **II** 196—197, 207

Oscillation:
— *D* mesons **I** 328, 396
— hydrogen-antyhydrogen **I** 398
— kaons **I** 289, 292—293, 354, 369, 396
— muonium-antimuonium **I** 288, 396; **II** 150
— neutrino **I** 176—177, 289—293, 331, 333, 347—348, 351—352, 365—366, 368—373, 375—376, 378—380, 382—383, 385—386, 390, 392—393, 402—404, 406—409; **II** 150, 176, 207
— neutron-antineutron **I** 396—397
— pionium-antipionium **I** 288

P symmetry and violation — **I** 227, 301, 349, 362, 374, 402
Proportional counter technique **I** 43—44, 60—62, 118—134; **II** 203

Superweak interaction **I** 285—288, 292, 385, 354

Universality of weak interactions **I** 175—176, 199—200

V–A model of weak interactions **I** 288, 303—304; **II** 20, 150

Wilson chamber **I** 23, 55; **II** 13
Λ hyperon, production mechanisms **II** 20—22

Copyrights

- Some early investigations on nuclear isomerism
  © Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 1983

- Recollections on the establishment of the weak interaction notion
  © Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 1985

- Страницы развития нейтринной физики
  © Издательство "Наука", "Успехи физических наук", 1983

- Я не абсолютно уверен,
  что "загадка солнечных нейтрино" реально существует
  © Издательство "Наука", "Природа", 1983

- Una nota autobiografica (*B.Pontecorvo*)
  © A.Mondadori Editore, 1988
  © Д.Б.Понтекорво. Перевод на русский язык, 1997

- Бруно Понтекорво и Париж (*Ж.Лаберриг-Фролова*)
  © Т.Д.Блохинцева. Перевод на русский язык, 1997

- Переводы статей с итальянского:
  Возвращение на улицу Панисперна (*Б.Понтекорво*)
  Встречи с Бруно Понтекорво (*Г.Пираджино*)
  Мои воспоминания о Бруно (*Ф.Бучелла*)
  После оттепели — ностальгия (*Н.Кабиббо*)
  Открытая библия в русской лаборатории (*У.Амальди*)
  Хиросима никогда не должна повториться (*П.Стролин*)
  Слова прощания (*Дж.Сальвини, К.Бернардини, Д.Фарджион*)
  © Д.Б.Понтекорво. Перевод на русский язык, 1997

While every effort has been made to contact the publishers of reprinted papers prior to publication we have not been successful in some cases. Whether we could not contact the publishers we have acknowledged the source of the material. Proper credit will be accorded to these publishers in future of this work after permission granted.

С.М.Биленький, Т.Д.Блохинцева, И.Г.Покровская, М.Г.Сапожников

СОДЕРЖАНИЕ

Статьи по истории физики

Открытие медленных нейтронов: некоторые воспоминания 5
Some Early Investigations on Nuclear Isomerism 9
Recollections on the Establishment of the Weak Interaction Notion 18
Страницы развития нейтринной физики 24

Научно-популярные статьи

Физика элементарных частиц — дорогая вещь! Нужна ли она? 63
Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует 67
Загадочные нейтрино 71
Нейтрино в лаборатории и во Вселенной 76

Воспоминания Бруно Понтекорво

Энрико Ферми 95
Возвращение на улицу Панисперна 131
И.Я.Померанчук и начало физики высоких энергий 133
Una Nota Autobiografica 137

Бруно Понтекорво в воспоминаниях

Bruno Pontecorvo's Legacy (*G.Salvini*) 147
Воспоминания и размышления о Бруно Понтекорво (*С.С.Герштейн*) 157
A Personal Debt to Bruno Pontecorvo (*J.Steinberger*) 175
Encounter with Bruno 1948—1949 (*L.M.Lederman*) 178
Origins of the Two Neutrino Experiments (*L.M.Lederman*) 179
Бруно Понтекорво и Париж (*Ж.Лаберриг-Фролова*) 181
Bruno Pontecorvo: from Rome to Dubna (*G.Fidecaro*) 195
Гений Бруно Понтекорво (*В.П.Джелепов*) 210
Бруно Максимович (*Л.Б.Окунь*) 218
Первые годы в науке с Бруно Максимовичем (*В.А.Жуков*) 222
Спасибо, дорогой Бруно Максимович (*Т.Д.Блохинцева*) 232
Бруно Максимович, мюоны и уран (*Л.Г.Ландсберг*) 238
Красивое имя — удивительный человек: штрихи к портрету Б.М.Понтекорво (*А.Н.Сисакян*) 241
«Судьба свои дары явить желала в нем...» (*И.Г.Покровская*) 244
Воспоминания о Бруно (*В.Б.Флягин*) 252
Встречи с Бруно Понтекорво (*Г.Пираджино*) 254
Бруно Максимович, каким его помню (*Л.Л.Неменов*) 258
Бруно — как много в этом звуке... (*Г.И.Селиванов*) 262
Он был учителем не только в аудитории (*А.В.Куликов*) 264
Талант и знания (*Б.М.Барбашов*) 266

Штрихи к портрету (*Л.А.Микаэлян*) 268
Такой неугомонный Бруно (*Л.М.Сороко*) 269
Обостренное чувство справедливости (*В.Г.Соловьев*) 271
Мои воспоминания о Бруно (*Ф.Бучелла*) 273
Незабываемые встречи (*Т.Л.Асатиани*) 276
Бруно Понтекорво (*В.Е.Цигаль*) 278
После оттепели — ностальгия (*Н.Кабиббо*) 286
Открытая Библия в русской лаборатории (*У.Амальди*) 289
Хиросима никогда не должна повториться (*П.Стролин*) 291
Слова прощания (*Дж.Сальвини, К.Бернардини, Д.Фарджион*) 293

Приложения

Основные даты жизни и деятельности Бруно Понтекорво 296
Библиография трудов Бруно Понтекорво 299
Открытия, изобретения 318
Именной указатель 319
Предметный указатель 328

Научное издание

ПОНТЕКОРВО БРУНО

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ.
Том II. ВОСПОМИНАНИЯ
Серия «Классики науки»

Оригинал макет подготовлен в издательском отделе
Объединенного института ядерных исследований.
Редакторы *Э.В.Ивашкевич, Е.В.Калинникова.*
Компьютерная верстка *И.Г.Андреевой, Е.М.Граменицкой*

Использованы фотографии семьи Б.Понтекорво,
архива ОИЯИ, П.И.Зольникова, Ю.А.Туманова.
Монтаж фотоблоков *Ю.А.Туманова*

Ответственный редактор *Л.И.Гладнева*
Компьютерная графика и оформление *М.В.Ивановского*

ИБ № 41881

ЛР № 020297 от 23.06.97.
Подписано в печать 26.11.97. Формат 70×90/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,82.
Уч.-изд. л. 29,50. Тираж 1000 экз. Заказ 2795 . С—041.

Издательская фирма
«Физико-математическая литература» РАН
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Отпечатано в Московской типографии № 2 РАН
121099 Москва Г-99, Шубинский пер, 6



Бруно Понтекорво



Бруно в возрасте четырех лет



Мать Мария Понтекорво



Отец Массимо Понтекорво



Б.Понтекорво (справа) в костюме выпускника Римского университета. 1933 г.



Э.Ферми (справа), Б.Понтекорво (слева) на «Оливетти» во время международной конференции по физике в Базель-Комо. 1949 г.



Здание Высшей нормальной школы в Пизе, где учился Б.Понтекорво и которую окончил Э.Ферми



Б.Понтекорво с женой Марианной. Париж, 1938 г.



М. и Б.Понтекорво с первенцем Джилем. Париж, 1940 г.



Б.Понтекорво с сыном Тито. Канада, 1946 г.



М. и Б.Понтекорво. Москва, 1955 г.



Б.Понтекорво с сыновьями Тито (слева) и Антонио. Дубна, 60-е годы



Б.Понтекорво с сыновьями Тито (слева) и Антонио. Дубна, 60-е годы



Слева направо: Антонио, Джиль, Тито Понтекорво. Дубна, 1964 г.



Тито Понтекорво — конезаводчик-селекционер. Святье, 1997 г.



Хорошая добыча!



Путешествие по стране во время командировки в Китай.
Б.Понтекорво, Чжоу Гуанчжао (справа). 1959 г.



На Камчатке



Б.Понтекорво (справа) на южной вершине Арагаца. Армения, 1966 г.



Б.Понтекорво с внуком Сашей. Дубна, 1975 г.



Прогулка по Дубне. Справа сын Антонио. 80-е годы



Во дворе коттеджа в Дубне. 60-е годы



В горах Кавказа



Б.Понтекорво с итальянской кинозвездой Моникой Витти.
Италия, 1980 г.



Б.Понтекорво с братом Джилло (справа). Москва, 1961 г.



Б.Понтекорво в гостях у старшего брата Гуидо (слева). Швейцария, 1989 г.



Школа в Эриче. Б.Понтекорво в перерыве между лекциями.
Италия, 1992 г.



1955 г.



Первомай в Дубне. Б.Понтекорво второй справа. 1966 г.



На семинаре



1967 г.



На общеинститутском семинаре. 1970 г.



Когда еще не было «оверхэдов»



Б.Понтекорво на заседании ученого совета ОИЯИ.
На переднем плане: А.М.Балдин (в центре), И.М.Франк. 1972 г.



На семинаре в Лаборатории ядерных проблем.
Слева направо: В.П.Джелепов, Б.Понтекорво, С.Б.Нурушев. 1963 г



Б.Понтекорво, Л.Ледерман (слева). Сан-Ремо, Италия, 1983 г.



Б.Понтекорво, В.В.Вишняков (справа) в зале синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем. 1965 г.



Н.Понтекорво, Б.Понтекорво, В.П.Джелепов, А.Н.Сисакян. 1987 г.



Б.Понтекорво, Л.И.Лапидус (справа). 70-е годы



Н.С.Исаева, В.Г.Кадышевский, Б.Понтекорво. 1964 г.



Слева направо: Ж.Лаберриг-Фролова, Т.Д.Блохинцева, Л.Л.Неменов, Б.Понтекорво. Дубна, 1964 г.



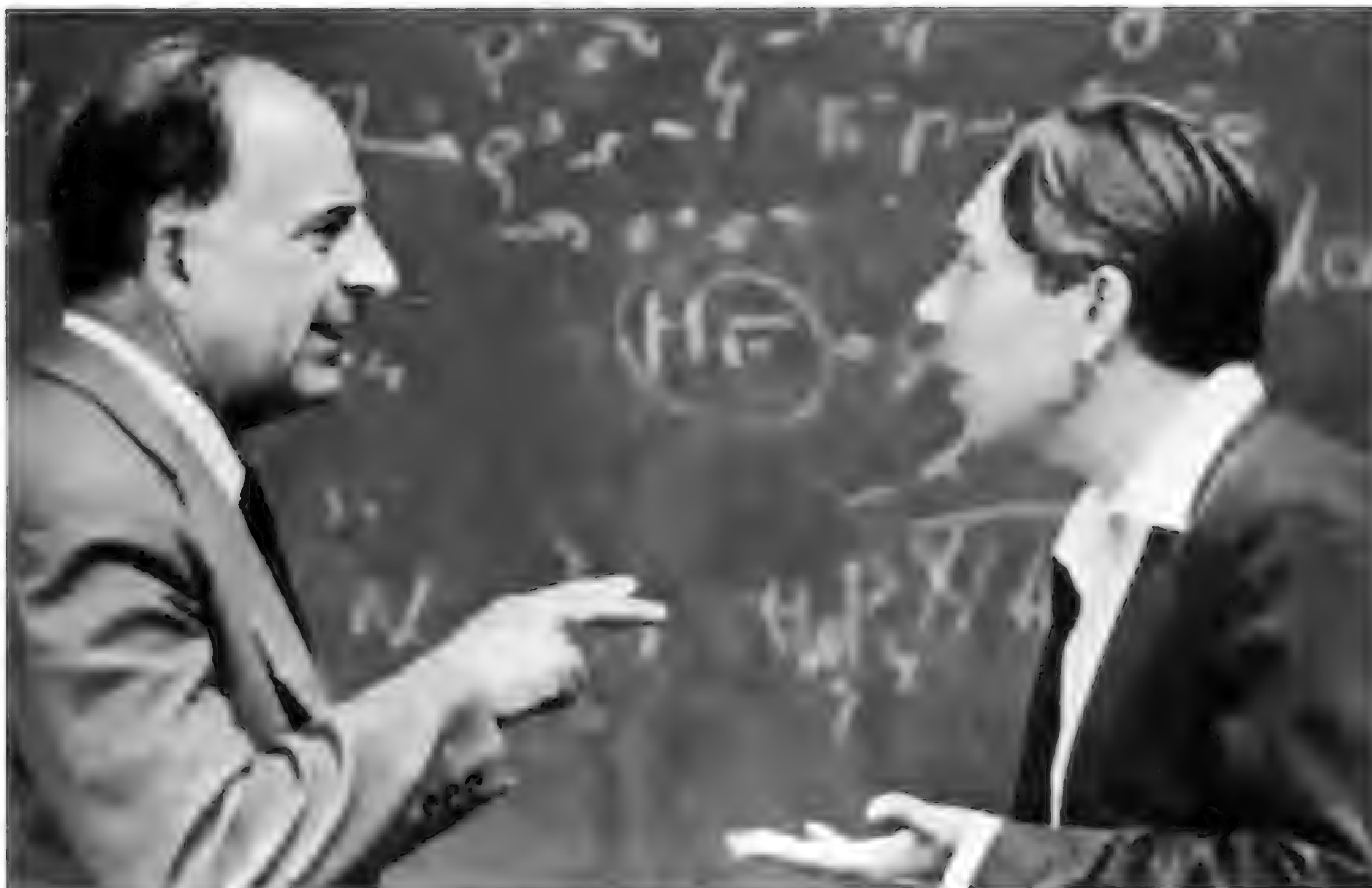
Б.Понтекорво, С.М.Биленький (справа) на семинаре («кажется, не слишком скучном» — *Б.П.*). Дубна, 1977 г.



Б.Понтекорво, Г.В.Мицельмахер (слева). Надпись на обороте фото: «2 + 2 = 4! Это Вы обязаны знать! — *Б.П.*». Дубна, 1978 г.



Справа налево: Б.Понтекорво, Ч.Янг, Нгуен Ван Хьеу
на приеме в кабинете Н.Н.Боголюбова. 1970 г.



Б.Понтекорво, Р.М.Суляев (справа). 1975 г.



Б.Понтекорво, Ц.Ву (на переднем плане), Я.А.Смородинский. 1968 г.



Б.Понтекорво, Б.С.Неганов (справа). Дубна, 1966 г.



Б.Понтекорво, А.Н.Тавхелидзе (слева)
вблизи Баксанской нейтринной обсерватории. 70-е годы



Б.Понтекорво, И.Г.Покровская. 1983 г.



Слева направо: Б.Понтекорво, В.Г.Гришин, Ю.Д.Прокошкин. 70-е годы



1989 г.

БРУНО ПОНТЕКОРВО
ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
II

